

# **Economia da Mudança do Clima no Brasil: Custos e Oportunidades**

**ECO  
NOMIA  
DO  
CLIMA**

ESTUDO ECONOMICO DAS  
MUDANÇAS CLIMATICAS  
NO BRASIL

## Ficha técnica

### Editores e Coordenadores Técnicos:

Sergio Margulis (Banco Mundial) e Carolina Burle Schmidt Dubeux (COPPE/UFRJ).

### Coordenadores dos estudos setoriais:

Alisson Barbieri (CEDEPLAR/UFMG), Alexandre Szklo (COPPE/UFRJ),  
Bernardo Baeta Neves Strassburg (Instituto GAEA e Universidade de East Anglia), Carlos Azzoni (FEA/USP), Eduardo Assad (EMBRAPA), Eduardo Haddad (FEA/USP), Emílio La Rovere (COPPE/UFRJ), Eneas Salati (FBDS), Hilton Pinto (UNICAMP),  
José Feres (IPEA), José Marengo (CCST/INPE), Paulo Cesar Rosman (UFRJ),  
Paulo Moutinho (IPAM), Robert Schneider (consultor),  
Roberto Schaeffer (COPPE/UFRJ) e Ulisses Confalonieri (FIOCRUZ).

### Presidente do Conselho de Orientação e Coordenador Geral:

Jacques Marcovitch (FEA/USP).

### Conselho de Orientação:

Carlos Afonso Nobre (ABC/INPE), Carlos Henrique de Brito Cruz (FAPESP),  
Carlos Roberto Azzoni (FEA/USP), Fábio Feldmann (FPMC),  
Francisco de Assis Leme Franco (MF), Israel Klabin (FBDS),  
Jacques Marcovitch (USP), José Domingos Gonzalez Miguez (MCT),  
José Goldemberg (IEE/USP), Luciano Coutinho (BNDES),  
Luiz Gylvan Meira Filho (IEA/USP), Luís Manuel Rebelo Fernandes (FINEP),  
Luiz Pinguelli Rosa (COPPE/UFRJ – FBMC), Marcio Pochmann (IPEA),  
Marco Antonio Zago (CNPq), Marcos Sawaya Jank (UNICA),  
Pedro Leite da Silva Dias (LNCC/CNPq/MCT), Sérgio Barbosa Serra (MRE),  
Suzanna Kahn Ribeiro (MMA/SMCQ), Temistocles Marcelos (FBOMS)  
e Thelma Krug (IAI).

## Ficha Catalográfica

Elaborada pela Seção de Processamento Técnico do SBD/FEA/USP

Economia da Mudança do Clima no Brasil: Custos e Oportunidades / editado por Sergio Margulis e Carolina Burle Schmidt Dubeux; coordenação geral Jacques Marcovitch.  
– São Paulo: IBEP Gráfica, 2010.  
82 p.

### Bibliografia.

1. Desenvolvimento econômico – Aspectos ambientais – Brasil
  2. Sustentabilidade – Brasil
  3. Mudança climática – Brasil
  4. Economia regional – Brasil
  5. Políticas públicas – Brasil
- I. Margulis, Sergio. II. Dubeux, Carolina Burle Schmidt. III. Marcovitch, Jacques.

CDD – 333.7

**Este estudo foi inspirado no Relatório Stern, do Reino Unido, que fez uma abrangente análise econômica do problema das mudanças climáticas em nível global. Desenvolvido por instituições de pesquisa atuantes na área, o estudo tem como premissas o rigor científico, a liberdade de pensamento e a busca de consenso através do diálogo entre todos os seus autores, seus revisores e os membros do Conselho de Orientação. Devido a seu pioneirismo, os resultados devem ser vistos como primeiras aproximações sobre um tema complexo, servindo como contribuição para o debate.**

## Agradecimentos

Os autores são devedores de incontável número de pessoas que ofereceram sua valiosa contribuição que tornou este estudo possível. A todos eles os autores agradecem o decidido apoio que viabilizou a realização deste projeto.

Alan Charlton, Ana Carsalade, André Nassar, Christophe de Gouvello, Christopher Taylor, Cristiane Fontes, David Corderi, Daniel Bradley, Dimitri Zenghelis, Dorte Verner, Eduardo Sousa, Eustáquio Reis, Ines Iwashita, Iran Magno, James Keough, James Warren Evans, John Briscoe, José Eli da Veiga, Laura Tuck, Luciana Carrijo, Marcia Guimarães, Marcia Sumire, Mark Lundel, Miranda Munro, Nicholas Stern, Octavio Tourinho, Osvaldo Soliano Pereira, Peter Collecot, Ronaldo Seroa da Motta, Stephanie Al-Qaq e Thatyanne Moreira.

Evidentemente, todos os erros e omissões por acaso remanescentes no trabalho são de responsabilidade única de seus autores.



# Índice

RESUMO EXECUTIVO.....	6
1 INTRODUÇÃO .....	11
2 CENÁRIOS DE CLIMA NO BRASIL .....	19
3 IMPACTOS AMBIENTAIS, ECONÔMICOS E SOCIAIS.....	23
3.1 Recursos hídricos	
3.2 Energia	
3.3 Produção agrícola	
3.4 Padrão de uso da terra	
3.5 Biodiversidade amazônica	
3.6 Zona costeira	
3.7 Região Nordeste	
4 ADAPTAÇÃO À MUDANÇA DO CLIMA .....	43
4.1 Setor agrícola	
4.2 Setor energético	
4.3 Zona costeira	
5 ANÁLISE MACROECONÔMICA.....	51
6 REDUÇÃO DE EMISSÕES .....	57
6.1 Redução do desmatamento na Amazônia Brasileira e seus custos de oportunidade	
6.2 Biocombustíveis	
6.2.1 Cenários de biocombustíveis	
6.2.2 Aspectos econômicos da expansão da cana-de-açúcar	
6.2.3 Aspectos socioambientais da expansão da cana-de-açúcar	
6.3 Efeitos de taxação sobre emissão de carbono na economia	
6.4 Setor energético	
7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	73
ANEXO.....	80
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	81

# Resumo executivo

A **transição climática** projetada pelo Painel Intergovernamental de Mudança do Clima (IPCC, sigla em inglês) afetará os recursos naturais, a economia e as sociedades do mundo todo em magnitude hoje desconhecida. O estudo Economia das Mudanças do Clima no Brasil (EMCB) é uma iniciativa pioneira para analisar e quantificar o impacto da mudança do clima na agenda de desenvolvimento do país. Sem conhecimento minimamente fundamentado sobre essas tendências, tomadores de decisão ficam desprovidos de instrumentos para identificar os riscos mais graves e urgentes e para avaliar e implantar as medidas de prevenção e adaptação mais eficientes em termos de custos e benefícios.

Pela primeira vez no país reuniu-se uma grande equipe interdisciplinar para integrar projeções sobre diferentes setores, formada principalmente por cientistas das principais instituições brasileiras de pesquisa. O ponto de partida foram modelos computacionais que forneceram projeções sobre o comportamento futuro do clima no território nacional, como temperatura e precipitação. Estas projeções alimentaram modelos de simulação de algumas áreas estratégicas da economia que traduziram em termos econômicos os impactos esperados em cada setor, de acordo com duas possíveis trajetórias do clima futuro desenvolvidas pelo IPCC – os cenários A2 e B2.

Estas trajetórias climáticas do IPCC são feitas baseadas em hipóteses sobre o comportamento futuro da economia global. Este estudo tenta simular o comportamento futuro da economia brasileira compatível, na medida do possível, com as mesmas hipóteses do IPCC para a economia global. Os cenários então gerados para a economia brasileira são aqui chamados de cenários A2-BR simulados sem mudança do clima e com mudança do clima segundo o cenário climático A2 do IPCC, e cenário B2-BR, também simulado sem mudança do clima e com mudança do clima segundo o cenário climático B2 do IPCC. Eles representam trajetórias futuras da economia brasileira caso o mundo se desenvolva globalmente segundo as premissas (econômicas) do IPCC do cenário climático A2 e do cenário climático B2 [1].

Apesar dos problemas climáticos associados ao aquecimento global serem de longo prazo, adotou-se o ano de 2050 como horizonte das simulações excluindo assim os efeitos mais graves sobre a produtividade e o crescimento do Produto Interno Bruto (PIB), que se farão sentir com maior força na segunda metade do século XXI. Isto foi necessário por conta de as incertezas envolvidas – principalmente macroeconômicas – serem ainda muito grandes e a base de dados não suportar projeções de mais longo prazo. Algumas das análises setoriais, no entanto, ultrapassam 2050. Além dessa limitação temporal, as simulações do estudo privilegiam os comportamentos médios das variáveis, por conta da dificuldade de representar adequadamente nos modelos as incertezas envolvidas em situações extremas de mudança do clima.

Neste resumo estão relacionados os principais resultados obtidos com esse exercício inédito, seguidos de recomendações de políticas públicas. Entre as principais conclusões está que os piores efeitos da mudança do clima recairão sobre as regiões Norte e Nordeste, as mais pobres do Brasil, e que, portanto, o custo da inação hoje será o aprofundamento das desigualdades regionais e de renda.

## Perspectiva macroeconômica

■ Estima-se que sem mudança do clima o PIB brasileiro será de R\$ 15,3 trilhões (reais de 2008) no cenário A2-BR em 2050, e R\$ 16 trilhões no cenário B2-BR. Com o impacto da mudança do clima, estes PIBs reduzem-se em 0,5% e 2,3% respectivamente.

■ Antecipados para valor presente com uma taxa de desconto de 1% ao ano, estas perdas ficariam entre R\$ 719 bilhões e R\$ 3,6 trilhões, o que equivaleria a jogar fora pelo menos um ano inteiro de crescimento nos próximos 40 anos.

■ Com ou sem mudança do clima, o PIB é sempre maior em B2-BR do que em A2-BR. Isto quer dizer que na trajetória mais limpa do cenário B2-BR, a economia cresce mais, e não menos. Em ambos cenários, a

pobreza aumenta por conta da mudança do clima, mas de forma quase desprezível.

■ Haveria uma perda média anual para o cidadão brasileiro em 2050 entre R\$ 534 (ou US\$ 291) e R\$ 1.603 (ou US\$ 874). O valor presente em 2008 das reduções no consumo dos brasileiros acumuladas até 2050 ficaria entre R\$ 6.000 e R\$ 18.000, representando de 60% a 180% do consumo anual per capita atual.

## Perspectivas regionais

■ As regiões mais vulneráveis à mudança do clima no Brasil seriam a Amazônia e o Nordeste.

■ Na Amazônia, o aquecimento pode chegar a 7-8°C em 2100, o que prenuncia uma alteração radical da floresta

[1] A distinção entre cenários climáticos e cenários socioeconômicos é importante. Apesar de a maioria dos estudos referir-se aos comportamentos da economia nacional como cenários A2 e B2, não existe um comportamento único para a economia nacional sob cada um dos cenários globais da economia. A economia global pode seguir uma trajetória A2 e o Brasil eventualmente seguir uma trajetória mais parecida com B2. Ainda que este estudo tenha tentado fazer a trajetória nacional consistente com a global, parece correto manter os nomes A2 e B2 para referir-se estritamente aos cenários climáticos globais A2 e B2; e chamar de cenários A2-BR e B2-BR para se referir aos cenários econômicos e climáticos quando aplicados ao caso brasileiro.

amazônica – a chamada “savanização”. Estima-se que as mudanças climáticas resultariam em redução de 40% da cobertura florestal na região sul-sudeste-leste da Amazônia, que será substituída pelo bioma savana.

■ No Nordeste, as chuvas tenderiam a diminuir 2-2,5 mm/dia até 2100, causando perdas agrícolas em todos os estados da região. O déficit hídrico reduziria em 25% a capacidade de pastoreio de bovinos de corte, favorecendo assim um retrocesso à pecuária de baixo rendimento.

■ O declínio de precipitação afetaria a vazão de rios em bacias do Nordeste, importantes para geração de energia, como a do Parnaíba e a do Atlântico Leste, com redução de vazões de até 90% entre 2070 e 2100.

■ Haveria perdas expressivas para a agricultura em todos os estados, com exceção dos mais frios no Sul-Sudeste, que passariam a ter temperaturas mais amenas.

## Perspectivas setoriais

**Recursos hídricos.** Os resultados projetados seriam alarmantes para algumas bacias, principalmente na região Nordeste, com uma diminuição brusca das vazões até 2100.

**Energia.** Perda de confiabilidade no sistema de geração de energia hidrelétrica, com redução de 31,5% a 29,3% da energia firme. Os impactos mais pronunciados ocorreriam nas regiões Norte e Nordeste. No Sul e no Sudeste os impactos se mostrariam mínimos ou positivos, mas neste caso não compensariam as perdas do Norte e do Nordeste.

**Agropecuária.** Com exceção da cana-de-açúcar, todas as culturas sofreriam redução das áreas com baixo risco de produção, em especial soja (-34% a -30%), milho (-15%) e café (-17% a -18%). A produtividade cairia em particular nas culturas de subsistência no Nordeste.

**Zona costeira.** Considerando o pior cenário de elevação do nível do mar e de eventos meteorológicos extremos, a estimativa dos valores materiais em risco ao longo da costa brasileira é de R\$ 136 bilhões a R\$ 207,5 bilhões.

## Adaptação

**Agricultura.** As modificações genéticas seriam alternativas altamente viáveis para minimizar impactos da mudança do clima, exigindo investimento em pesquisa da ordem de R\$ 1 bilhão por ano. A irrigação também foi investigada como alternativa de adaptação, mas com razões benefício-custo em geral menores.

**Energia.** Seria preciso instalar uma capacidade extra

para gerar entre 162 TWh (25% da oferta interna de energia elétrica em 2008) e 153 TWh por ano (31% da oferta interna de energia elétrica em 2008), de preferência com geração por gás natural, bagaço de cana e energia eólica, a um custo de capital da ordem de US\$ 51 bilhões a US\$ 48 bilhões.

**Zona costeira.** O custo de ações de gestão costeira e outras políticas públicas (14 ações recomendadas) somariam R\$ 3,72 bilhões até 2050, ou cerca de R\$ 93 milhões por ano.

## Oportunidades de mitigação

**Desmatamento.** Um preço médio de carbono na Amazônia de US\$ 3 por tonelada, ou US\$ 450 por hectare, desestimularia entre 70% e 80% da pecuária na região. Ao preço médio de US\$ 50 por tonelada de carbono, seria possível reduzir em 95% o desmatamento.

### Biocombustíveis.

■ A substituição de combustíveis fósseis poderia evitar emissões domésticas de 92 milhões a 203 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente em 2035. Exportações de etanol acrescentariam de 187 milhões a 362 milhões de toneladas às emissões evitadas em escala global.

■ O crescimento da área plantada de 17,8 milhões a 19 milhões de hectares não causaria substituição de áreas destinadas às culturas de subsistência em nenhuma região brasileira nem pressionaria o desmatamento da Amazônia, mas nas regiões Sudeste e Nordeste poderia afetar florestas e matas dos estabelecimentos agrícolas, caso as políticas para o setor não sejam implementadas adequadamente.

■ No Centro-Sul, principalmente, exposição de grandes concentrações populacionais a altos níveis de poluição atmosférica, caso não seja adotado o sistema de colheita mecanizada.

**Taxação de carbono.** O estudo estimou que o impacto de uma taxa entre US\$ 30 e US\$ 50 por tonelada de carbono reduziria as emissões nacionais entre 1,16% e 1,87% e resultaria em uma queda no PIB entre 0,13% e 0,08%.

**Setor energético.** Tomando como referência o Plano Nacional de Energia 2030, o potencial estimado de redução de emissões seria de 1,8 bilhão de toneladas de CO<sub>2</sub> acumuladas no período 2010-2030. Com uma taxa de desconto de 8% ao ano, o custo estimado seria negativo, ou seja, haveria um ganho, ou benefício, de US\$ 34 bilhões em 2030, equivalentes a US\$ 13 por tonelada de CO<sub>2</sub>.



## Prioridades de ação

■ Os custos e riscos potenciais da mudança do clima para o Brasil seriam ponderáveis e pesariam mais sobre as populações pobres do Norte e Nordeste, de modo que políticas de proteção social nestas regiões devem ser reforçadas.

■ É possível e necessário associar metas ambiciosas de crescimento com a redução de emissões de gases de efeito estufa, para assegurar acesso a mercados que favoreçam produtos com baixa emissão de carbono em seu ciclo de vida.

■ A mudança do clima deve integrar as políticas governamentais do setor ambiental, incluindo a emissão e sequestro de gases do efeito estufa no processo de licenciamento, tanto no caso da agenda marrom (poluição) quanto no da agenda verde (setor rural e afins) – setores de transportes, habitação, agricultura e indústria.

■ Garantir que a matriz energética mantenha-se “limpa”, investir nas muitas opções de eficiência energética altamente rentáveis.

■ No presente, a principal recomendação é estancar o desmatamento da Amazônia. O desmatamento gera significativas mudanças do clima local e regional e resulta em uma perda projetada de até 38% das espécies e de 12% de serviços ambientais em 2100.

■ Aumentar o conhecimento técnico sobre o problema, com o desenvolvimento de modelos climáticos, modelos que traduzam as mudanças esperadas do clima em impactos físicos nos diversos setores da economia e apresentar alternativas de mitigação e adaptação mais eficientes.

■ Investir em pesquisa agrícola de ponta, em particular na modificação genética de cultivares.

■ Desenvolver mais estudos para identificar a natureza e quantificar os riscos de eventos extremos além de 2050 e 2100.

Finalmente, cumpre notar que, principalmente em decorrência do debate nacional sobre a posição que o Brasil deveria adotar nas negociações internacionais, tem-se discutido intensamente cenários que levam em consideração o grande potencial de mitigação do país, ao se buscar uma economia de baixo carbono. Alguns têm denominado esta trajetória de “Brasil Potência Ambiental”. O referencial de modelagem aqui desenvolvido será útil na elaboração de uma série de diferentes cenários econômicos, sociais e climático-ambientais que incorporem as medidas de mitigação que se queira testar. Recomenda-se, assim, como trabalho para o futuro imediato que se incorpore esta modelagem às recém criadas redes de pesquisa, como a Rede Brasileira de Pesquisas sobre Mudanças Climáticas Globais (Rede CLIMA) e o Instituto Nacional

de Ciência e Tecnologia para Mudanças Climáticas, as quais incorporam a maioria dos grupos de pesquisa do EMCB.

## Limitações do estudo

O caráter pioneiro deste estudo implica uma série de limitações, que não se pode deixar de levar em conta na ponderação de seus resultados. São cinco as principais limitações:

■ O uso de apenas um modelo climático global, no qual se basearam as análises setoriais e econômicas, decisão fundamentada no grau de conhecimento disponível no início do estudo com simulações de funções de distribuição de probabilidade para diversos parâmetros e na experiência do INPE com o downscaling (redução de escala) dos modelos globais.

■ A abordagem determinística do estudo, isto é, a não consideração explícita do risco e da incerteza e a ênfase em valores médios esperados, com foco restrito sobre custos imediatos de pequenas mudanças de temperatura sobre um conjunto limitado de impactos mensuráveis.

■ O fato de os valores estimados de precipitações futuras pelos vários modelos climáticos não concordarem em sinal (aumento ou diminuição), o que limita projeções sobre o clima futuro e seus potenciais impactos econômicos.

■ A incompletude da base de dados e de informações técnicas disponíveis, desde modelos climáticos e projeções sobre o clima futuro até dados ecológicos e socioeconômicos, incluindo a valoração econômica. Nos setores mais complexos ou com conhecimento técnico restrito (como biodiversidade e zona costeira), as análises e a valoração econômica são preliminares.

■ A não incorporação de mudanças tecnológicas de longo prazo, pela falta de cenários e análises sobre as quais basear as projeções, uma decisão decorrente da incipiência dos modelos e das restrições técnicas de ligar todos os modelos, desde as projeções de variações climáticas até seus impactos socioeconômicos.

O presente estudo focalizou a perspectiva nacional, deixando para estudos futuros as análises locais e dos impactos das dimensões institucionais, legais e culturais. As análises sociais se limitaram ao que surgiu da análise macroeconômica e apenas parcialmente dos diversos capítulos setoriais. Além disso, não se estimaram os impactos das mudanças climáticas sobre a infraestrutura, e menos ainda sobre alternativas de adaptação, aspectos que aguardam pesquisas futuras e que representam custos significativos.



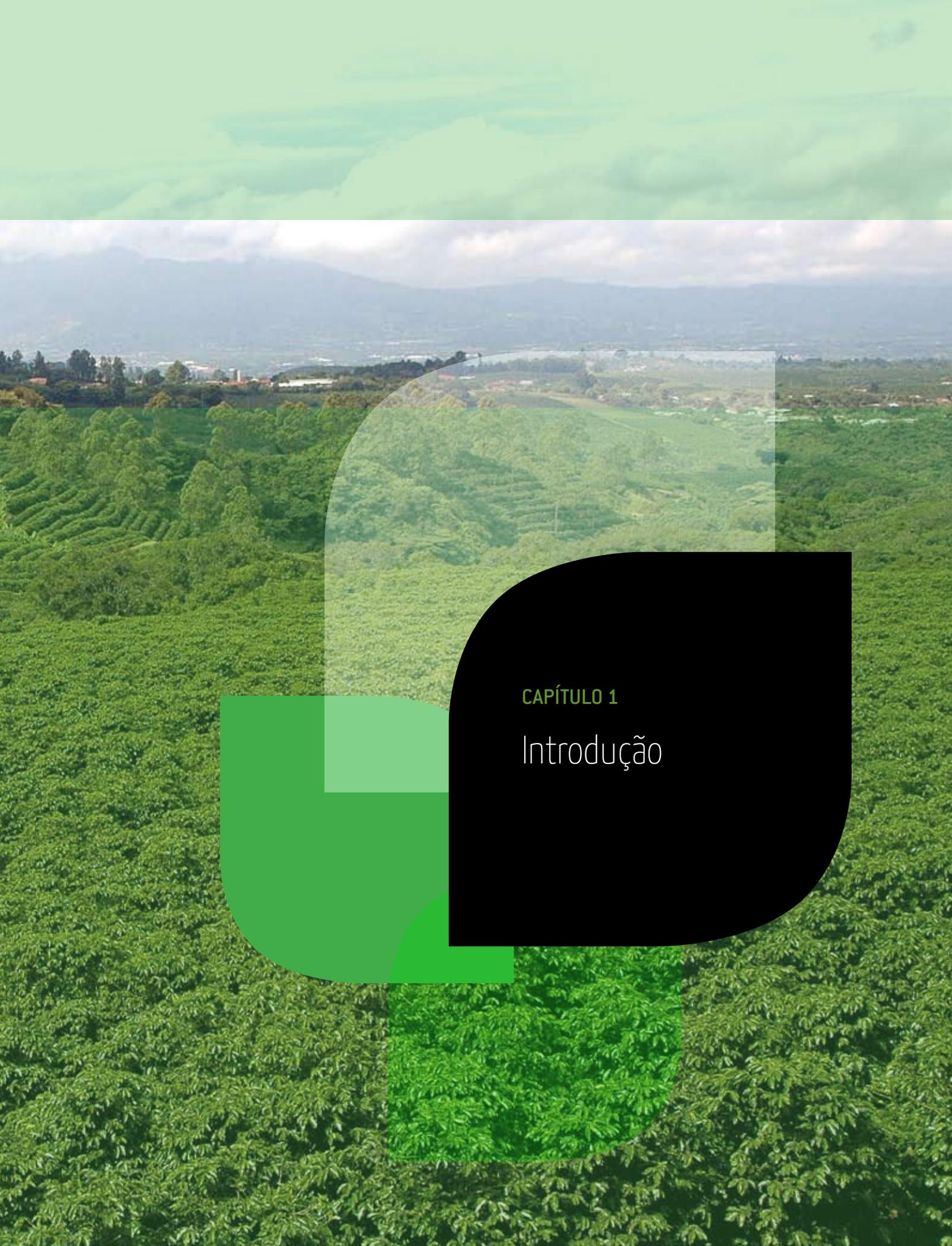
## O CUSTO DA INAÇÃO: perdas acarretadas pelos impactos das mudanças climáticas no Brasil, em reais de 2008

<b>PIB em 2050</b>	-R\$ 719 bilhões (A2-BR) e -R\$ 3.655 bilhões (B2-BR)	0,5 % e 2,3% dos PIBs de 2050, em cada cenário	
<b>PIB per capita em 2050</b>	-R\$ 534 (A2-BR) e -R\$ 1.603 (B2-BR)		
<b>Excedente hídrico bacias Nordeste (período 2041-2070)</b>	-60% (de 7.075 para 2.833 m³/s, A2-BR) e -56% (B2-BR)	Bacias Atlântico NE Oriental e Ocidental, Parnaíba e São Francisco	
<b>Agricultura</b>	<b>Variação % da área de baixo risco (2050)</b>	<b>Perda produtividade média</b>	<b>Perda anual, Cenário A2-BR</b>
Arroz	-12% nos 2 cenários	-12% (C0) e +44% (S)	R\$ 530 milhões/ano
Algodão	-14% nos 2 cenários	----	R\$ 408 milhões/ano
Café	-17% ou -18% (A2-BR ou B2-BR)	----	R\$ 1.597 milhões/ano
Feijão	-10% nos 2 cenários	-8% (C0) e +37% (S)	R\$ 363 milhões/ano
Soja	-34% ou -30% (A2-BR ou B2-BR)	-0,7 (C0) e +21% (S)	R\$ 6.308 milhões/ano
Milho	-15% nos 2 cenários	-27% (NE) e -10% (S)	R\$ 1.511 milhões/ano
Cana	139% ou 147% (A2-BR ou B2-BR)	+66% (S) e +34% (SE)	----
<b>Energia elétrica firme</b>	-31,5% ou -29,3% (A2-BR ou B2-BR)		
<b>Energia média</b>	+ 2,7% ou 1,1% (A2-BR ou B2-BR)		
<b>Demanda de etanol (doméstica + export.) em 2050</b>	169,7 bilhões (A2-BR) e 118,2 bilhões de litros (B2)	= 16,4 ou 13,5 milhões ha (A2-BR ou B2-BR) ≈ 16% área adequada para cana	
<b>Aumento demanda energia elétrica</b>	1.333 ktEp (A2-BR) e 1.092 ktEp (B2-BR)		
<b>Perda de cobertura florestal (Amazônia)</b>	De 354 milhões para 199 milhões ha (A2-BR) = - 44%. 40% e 85% (sem e com desmatamento)	Projeção para 2100	
<b>Perda dos serviços ambientais</b>	-12,4% em 2100 (A2-BR) = US\$ 26 bilhões/ano	Sujeito a sérias limitações metodológicas/dados	
<b>Perda de espécies na Amazônia</b>	12% ou 30-38% (sem/com desmatamento, 2100)	Sujeito a limitações metodológicas/dados	
<b>Zona costeira, patrimônio em risco</b>	De R\$ 136 bilhões a R\$ 207,5 bilhões	Sujeito a limitações metodológicas/dados	

## CUSTOS E OPORTUNIDADES DA AÇÃO: investimentos para preparar a economia brasileira e seus benefícios

CUSTOS E BENEFÍCIOS DA ADAPTAÇÃO				
Agricultura	Modificação Genética	Irrigação	Benef./Custo Modif. Genética	Benef./Custo Irrigação
Arroz	R\$ 65 milhões/ano	R\$ 197 milhões/ano	8,2	2,7
Algodão	R\$ 38 milhões/ano	--	10,7	--
Café	R\$ 104 milhões/ano	--	15,4	--
Feijão	R\$ 51 milhões/ano	R\$ 494 milhões/ano	7,1	0,7
Soja	R\$ 378 milhões/ano	--	16,7	--
Milho	R\$ 354 milhões/ano	R\$ 309 milhões/ano	4,3	4,9
<b>Energia</b>	Custo de capital R\$ 93,6 bilhões + R\$ 12,7 bilhões/ano de custo operacional, cenário A2-BR		R\$ 88 bilhões + R\$ 13,2 bilhões/ano, cenário B2-BR	
<b>Zona costeira</b>	R\$ 6,8 bilhões (total) ou R\$ 170,6 milhões/ano		Custos de gestão do governo, exclui obras	
OPORTUNIDADES DE MITIGAÇÃO				
<b>Desmatamento da Amazônia</b>	Redução 70-95% do desmatamento		Conforme um custo de US\$3 ou 50/t de carbono	
<b>Produção de etanol</b>	De 187 milhões a 362 milhões de toneladas de CO <sub>2</sub> eq		Em 2035, conforme destino do álcool exportado	
<b>Taxação de carbono</b>	Emissões -1,16% e -1,87%; PIB -0,13% e -0,08%		Conforme taxa de US\$ 30 ou 50/t de carbono	
<b>Eficiência energética</b>	Potencial de 1,8 bilhão t de CO <sub>2</sub> entre 2010-30		Custo médio equivalente de US\$ -13/t de CO <sub>2</sub>	





CAPÍTULO 1

Introdução

# Introdução

A **questão central deste estudo** é avaliar o grau de influência da mudança do clima na agenda de desenvolvimento do Brasil. Ele teve início em meados de 2007, por iniciativa conjunta da Embaixada Britânica no Brasil, da Academia Brasileira de Ciências e das instituições públicas brasileiras que aderiram ao estudo. A partir da fixação de bases conceituais, especialistas dessas 11 instituições começaram a atuar de forma integrada sob a coordenação técnica de dois especialistas, tendo sido realizados cinco workshops técnicos ao longo dos 24 meses de elaboração do estudo e quatro reuniões de consulta ao Conselho de Orientação (v. anexo 1, pág. 80).

## A. Contexto

As **alterações climáticas** decorrentes do aquecimento global constituem um problema social da maior importância para o Brasil. A ideia de que são “questões para os países ricos” – porque eles as criaram e, portanto, têm a obrigação de resolvê-las – é uma tradução infiel do princípio da responsabilidade comum, porém diferenciada, consagrado na Convenção da ONU sobre Mudança do Clima. É cada vez mais improvável que seus impactos possam ser evitados só com esforços de mitigação das nações mais ricas, pois as emissões anuais de alguns países em desenvolvimento, como China, Índia e Brasil, já são hoje maiores que as de muitas economias desenvolvidas (em termos brutos, mas não per capita).

O aquecimento global é um problema que afetará principalmente as populações mais pobres (e, portanto, mais vulneráveis), e o tempo é curto demais para optarmos pela inação. A dimensão econômica do problema é o objeto de atenção deste estudo.

Os últimos dois relatórios do IPCC (2001 e 2007) e vários outros trabalhos científicos recentes afirmam que a mudança climática é um fato inequívoco e se deve principalmente à ação do homem. Desde 2001 houve uma série de avanços científicos e de modelagem climática que permitiram um ajuste contínuo das estimativas. O Quarto Relatório de Avaliação do IPCC (AR4, 2007) indica uma variação extrema entre 1,1°C e 6,4°C, com média de 4°C, até o final do século XXI, considerando a média de 1990 como referência. Além de aumentos de temperatura são previstas mudanças no regime de chuvas, apesar de essas projeções serem mais laboriosas e permanecerem ainda muito incertas.

Sendo hoje cada vez mais aceito que o aumento das concentrações de gases de efeito estufa (GEE) decorre primordialmente de ações antrópicas, recai inicialmente sobre os países ricos a responsabilidade principal pelo problema, o que é ainda agravado pelo fato de que foram justamente as emissões de GEE que alavancaram o crescimento econômico desses países. Nada mais justo, portanto, que os países em desenvolvimento tenham a oportunidade de também crescer lançando mão de emissões per capita semelhantes às dos países desenvolvidos. O desafio consiste precisamente em resolver essa “injusta” equação: garantir o direito equitativo de crescimento dos países em desenvolvimento sem aumentar as concentrações de GEE na atmosfera.

É crucial e urgente, portanto, que todos os países busquem uma solução de consenso que seja técnica e politicamente factível, além de equitativa. No entanto, faltam estudos econômicos que subsidiem as tomadas de decisão no plano interno e internacional. Este é, assim, o objetivo central do presente estudo.

## B. Objetivos e escopo do estudo

O **propósito do estudo** é fazer uma avaliação econômica dos impactos da mudança do clima no Brasil. Considerando os diferentes cenários desse fenômeno, são identificadas as principais vulnerabilidades da

### MITIGAÇÃO E ADAPTAÇÃO

A literatura não especializada sobre as causas e as consequências da mudança do clima algumas vezes confunde o leitor. As causas do problema e as medidas necessárias para mitigá-lo envolvem todos os países e dizem respeito fundamentalmente às emissões de GEE. Aí se incluem as questões dos combustíveis fósseis, das fontes renováveis e da eficiência energética, os acordos internacionais, a taxação das emissões, as mudanças de comportamento e hábitos de consumo etc.

A redução da emissão de 1 tonelada de CO<sub>2</sub> pode vir da Suécia ou da Etiópia: os benefícios são idênticos e compartilhados por todos os paí-

economia e da sociedade brasileiras, além de estratégias custo-efetivas para lidar com os riscos associados a tais cenários. Uma questão fundamental aqui tratada é o grau de influência do aquecimento global na agenda de desenvolvimento do Brasil, um país com grande extensão de florestas e significativa participação do setor agropecuário no PIB e nas exportações.

Os objetivos gerais do estudo são os seguintes:

- Reunir as principais instituições de pesquisa para avaliar o problema por meio de uma perspectiva multidisciplinar;
- Aproveitar o conhecimento local existente como subsídio para a análise econômica dos prováveis impactos da mudança do clima no Brasil;
- Contribuir para o debate sobre que ações o Brasil deve tomar em relação à mudança do clima, baseando-se em análises técnicas e econômicas sólidas;
- Apoiar a formulação e a implementação de políticas públicas no Brasil, assim como estabelecer posições para negociações internacionais que favoreçam os interesses do país e, ao mesmo tempo, otimizem suas contribuições para o tratamento do problema global comum.

Os objetivos específicos são:

- Fazer uma avaliação econômica dos prováveis impactos de diferentes cenários da mudança do clima no Brasil;
- Avaliar os prováveis impactos sociais e regionais de diferentes cenários de mudança do clima;
- Identificar ações custo-efetivas de mitigação e seus potenciais benefícios locais e nacionais;
- Identificar estratégias de adaptação em setores selecionados e avaliar seus custos e benefícios;
- Fazer uma análise econômica, social e ambiental do potencial dos biocombustíveis no Brasil, em particular da cana-de-açúcar, em termos de oportunidades de

substituição da gasolina e de exportações para os mercados mundiais;

- Avaliar oportunidades econômicas para a região amazônica em termos de redução das emissões, benefícios do desmatamento evitado e, por fim, compensações entre interesses locais, nacional e globais.

### C. Peculiaridades do problema: desafios do estudo

**Incerteza e risco.** Os modelos climáticos regionais apontam um risco de “savanização” de boa parte da Amazônia, secas mais intensas e mais frequentes no Nordeste, chuvas intensas e inundações nas áreas costeiras e urbanas das regiões Sudeste e Sul e reduções significativas do potencial de geração hidrelétrica nas regiões Norte, Centro-Oeste e Nordeste. No entanto, isso é apenas uma parte do problema. Inúmeras incertezas permanecem na modelagem dos impactos das mudanças climáticas, especialmente além do horizonte de planejamento de 20 a 50 anos.

A avaliação econômica das mudanças do clima e as políticas para abordá-las dependem de informação ainda não disponível. A incerteza relacionada à ciência do clima e às projeções climáticas tem forte influência sobre as análises econômicas e sobre a formulação de políticas. Tal incerteza, no entanto, não deve ser motivo para a inação, justamente o contrário: ela simplesmente aumenta o custo da inação.

As decisões de ação sobre a mudança do clima estão sujeitas a dois tipos de risco: (i) o de nada fazer e futuramente deparar-se com um impacto não previsto; (ii) o de decidir por uma ação preventiva que se mostre futuramente desnecessária. Como o risco a que estamos sujeitos no caso da mudança do clima envolve



ses. A estratégia básica da mitigação é, portanto, a de custo-efetividade: idealmente o mundo todo deve buscar a forma mais barata de reduzir a emissão de qualquer tonelada de GEE, seja em que país for, e seja da fonte que for.

Por outro lado, a inevitabilidade da mudança do clima força todos os países a buscarem estratégias individuais de adaptação. Ao contrário da mitigação, tanto os custos quanto os benefícios das ações de adaptação recaem sobre cada país. A decisão do Brasil de investir muito ou pouco em adaptação não afeta em princípio nenhum outro país. Em suma, a natureza dos problemas é distinta, os custos e benefícios

incidem de forma distinta sobre os países, e os incentivos para priorizar um ou outro problema são também distintos.

A adaptação não é um substituto da mitigação, pois há limites claros sobre o que ela pode alcançar. Indubitavelmente, o esforço global deve focar a mitigação. Mas, por uma questão de responsabilidade diante do custo bilionário, a comunidade internacional também deve ajudar os países mais pobres a desenvolverem suas próprias estratégias de adaptação e custear ou financiar as ações prioritárias.

Apesar das diferenças intrínsecas, mitigação e adaptação estão relacionadas: os esfor-

ços despendidos em um problema diminuem a necessidade de fazer frente ao outro. Na prática, é razoável nestas fases iniciais de compreensão e avaliação do aquecimento global que se trate dos problemas de forma independente, sem desprezar oportunidades de ações conjuntas e complementares. O melhor exemplo se encontra talvez no setor florestal, onde o reflorestamento é igualmente medida de mitigação e de adaptação: as florestas em crescimento absorvem CO<sub>2</sub> [mitigação] e ao mesmo tempo ajudam na manutenção de serviços ambientais, o que em geral aumenta a resiliência aos choques climáticos [adaptação].

a sobrevivência do homem e do planeta, parece natural priorizar sempre que possível a ação preventiva.

Na medida em que os recursos são mais escassos nos países pobres, porém, os incentivos para investir na prevenção e na preparação para mudança do clima são menores que nos países ricos, onde o risco de investir demais é menor. A maior parte dos problemas sociais está resolvida nas nações mais desenvolvidas e sua população alcançou um nível satisfatório de qualidade de vida. Nas nações menos desenvolvidas, questões como a eliminação da pobreza e a obtenção de um nível mínimo de saúde e segurança alimentar ganham prioridade sobre a mudança do clima no momento de decidir onde investir.

**Descontinuidades.** Muitos dos problemas e impactos apresentam forte descontinuidade, ou seja, os fenômenos exibem determinada tendência até que ela é subitamente descontinuada e passa a apresentar um comportamento extremo. Um exemplo típico é a

agricultura: para várias culturas, uma elevação gradual da temperatura média de 2-3°C leva a uma queda gradual da produtividade que pode ser mitigada em boa medida com irrigação, melhorias genéticas e outras práticas. No entanto, a partir de 3°C, aproximadamente, torna-se fisiologicamente impossível intervir no processo, independentemente da tecnologia, porque a planta simplesmente não é capaz de tolerar maiores temperaturas.

**Irreversibilidade.** Um terceiro aspecto, relacionado à descontinuidade, é a irreversibilidade. No exemplo da agricultura, uma eventual volta da temperatura aos níveis historicamente observados viabilizaria novamente a produção. No entanto, a savanização da Amazônia, a perda de espécies biológicas e de ecossistemas e as elevações dos níveis do mar são fenômenos irreversíveis e em grande medida catastróficos.

**Inércia.** Como o tempo de permanência dos gases de efeito estufa na atmosfera é muito grande, ainda que fosse possível eliminar imediatamente todas as emissões antrópicas a humanidade ainda enfrentaria um determinado nível de aquecimento global. Além disso, decisões de investimento em infraestrutura, transporte, planejamento urbano, uso do solo e tecnologias têm reflexos sobre a possível velocidade de adaptação e mudança, pois seus efeitos se estendem por décadas. A decisão de construir uma termelétrica a carvão hoje implica que dificilmente a instalação deixará de operar antes do término de sua vida útil de 20 a 30 anos, o que significa que estará queimando carvão e lançando gases do efeito estufa por todo esse período. A decisão de construir estradas e pavimentar rodovias incentiva consumidores a comprarem carros e as empresas, a planejarem transporte por caminhões, ao invés de utilizarem transportes coletivos e outros modais com menor emissão. Em resumo, vários fenômenos climáticos e várias decisões tomadas no presente têm implicações de muito longo prazo e pouco, ou nada, se pode fazer para revertê-los.

**Modelagem física e econômica.** Nenhum estudo pode abordar com precisão as incertezas da mudança do clima, o que, no entanto, não justifica ignorá-las. Usar “apenas” modelos determinísticos que medem um conjunto fixo de projeções significa desconsiderar boa parte da história. Ainda assim, antes de tentar avaliar todos os possíveis riscos, é importante entender as implicações prováveis do aquecimento global com base nas expectativas médias mais prováveis. As ferramentas para avaliar esses impactos já existem.

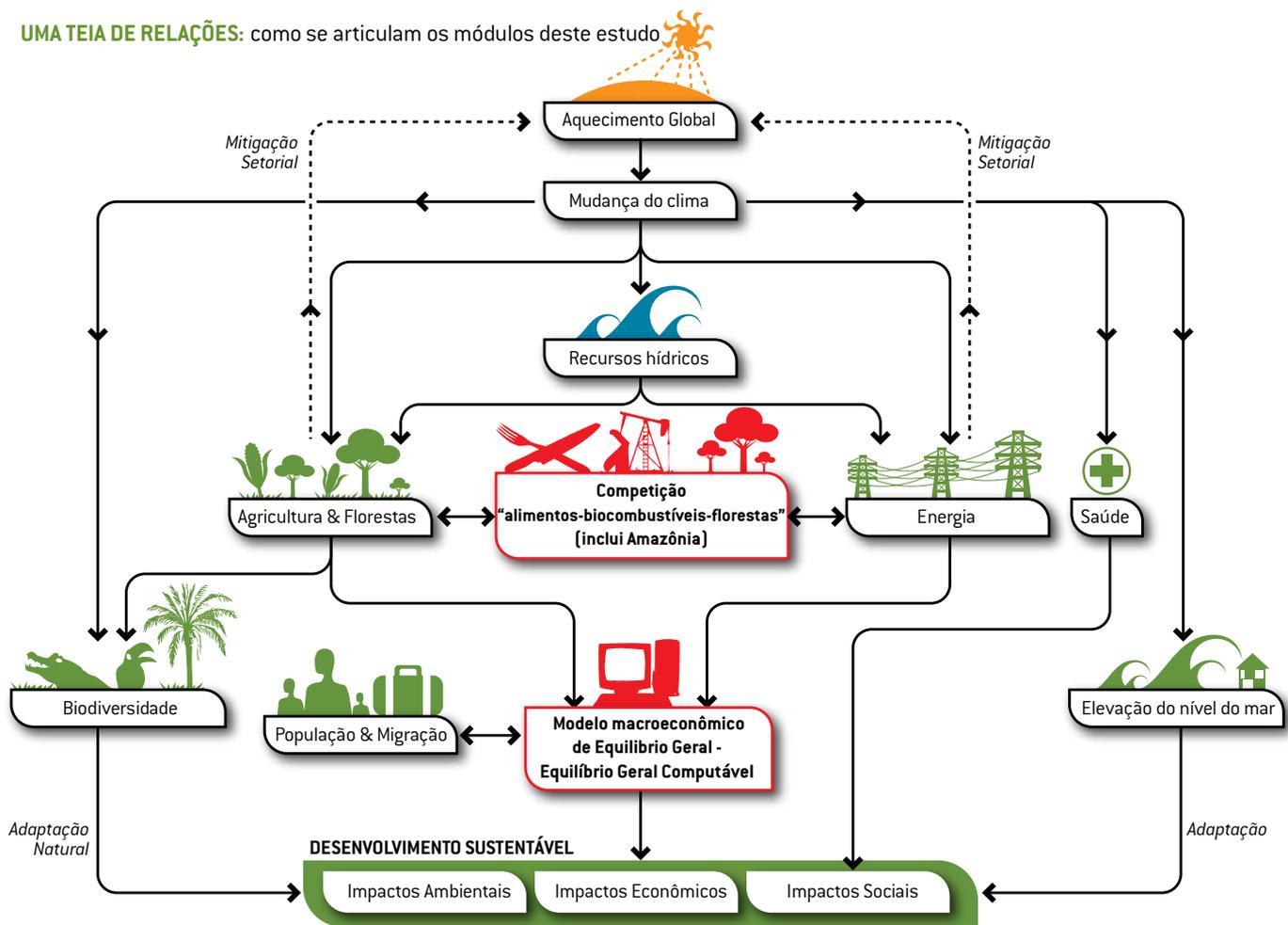
O primeiro passo da abordagem busca entender melhor as ameaças da mudança do clima ao país medindo com precisão o que é sabido hoje com alto

## UMA METODOLOGIA INOVADORA

O grande desafio metodológico do estudo é ligar projeções sobre o clima futuro com os setores econômicos e com inúmeras características ambientais e socioeconômicas locais e regionais. Além disso, é preciso definir um nível de agregação, ou desagregação, das análises que torne o estudo relevante e minimamente fiel à realidade “local” e ao mesmo tempo seja viável do ponto de vista do manuseio de informações e dos dados. Isso é crítico em um estudo envolvendo inúmeros setores com naturezas muito díspares. O estudo tenta assim combinar a perspectiva macroeconômica, que supostamente integra as análises setoriais de forma agregada, com a perspectiva setorial (microeconômica). Os estudos setoriais buscam incorporar as variáveis climáticas e analisar seus efeitos econômicos sobre os setores, enquanto que no nível nacional um modelo macroeconômico integra as análises entre setores e entre estes e as variáveis climáticas.

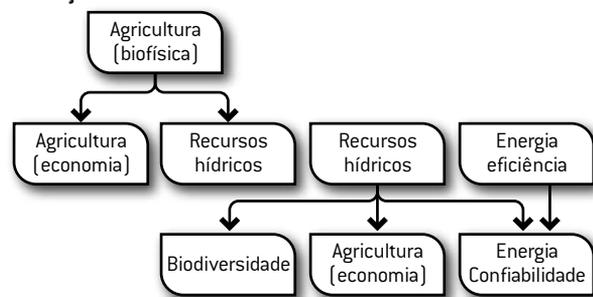
O arcabouço geral das análises pode ser visto no diagrama à página 15, que estabelece as relações entre mudanças climáticas, atividades econômicas e recursos naturais, além de impactos sobre as metas do desenvolvimento sustentável.

**UMA TEIA DE RELAÇÕES:** como se articulam os módulos deste estudo

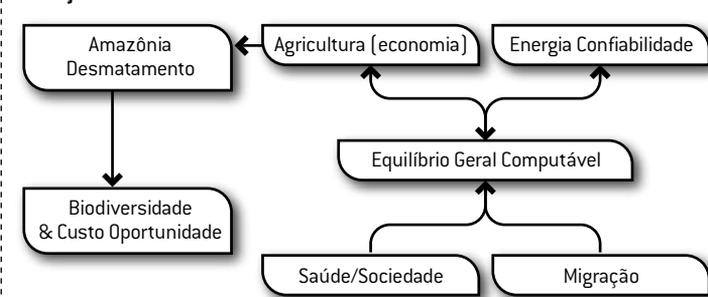


**FLUXO DE INSUMO E PRODUTOS:** Modelo Macroeconômico de Equilíbrio Geral - Equilíbrio Geral Computável - Saúde/Sociedade

**Interações dos setores e blocos I**



**Interações dos setores e blocos II**



grau de certeza: os custos de curto prazo de pequenas mudanças de temperatura sobre um conjunto limitado de impactos mensuráveis, em geral com preços de mercado. Ilustra-se como o Brasil poderá parecer no futuro no caso “médio” esperado. Os resultados apresentados, muitos alarmantes, em geral representam subestimativas dos custos absolutos.

**Valoração do futuro e análises custo-benefício.**

Do ponto de vista econômico existem dois grandes

problemas para analisar implicações do aquecimento global em qualquer país. O primeiro refere-se à dificuldade de valorar as perdas econômicas. Tomando o exemplo da agricultura, é necessário que, a partir de um determinado cenário de mudança do clima em uma região, se conheçam as implicações dessas mudanças sobre a produtividade agrícola na mesma região, a partir das quais se torna possível projetar medidas de adaptação – como irrigação e desenvolvimento de variedades adaptadas – ou estratégias mais



radicais, como mudança de culturas ou abandono da agricultura e introdução da pecuária. A dificuldade está, evidentemente, em definir a relação entre determinada mudança climática e o efeito sobre a produtividade agrícola – tarefa que envolve uma combinação de ciência agrícola, economia e avaliação de condicionantes como mercados locais e externos, competitividade e sistemas de produção vigentes, entre outros.

Alguns problemas são ainda mais difíceis. Como prever os impactos da mudança do clima sobre os ecossistemas – por exemplo, na Amazônia – e como valorar economicamente as potenciais perdas? Como considerar os impactos sobre as populações mais pobres? Que critério econômico utilizar para decidir entre alternativas de ação envolvendo enorme incerteza?

O segundo problema diz respeito às valorações futuras. A mudança do clima vai se intensificar ao longo do tempo, mas muitas das decisões devem ser feitas no presente. Ainda que as ressacas não devam aumentar significativamente na próxima década, é fundamental que os projetos presentes de construção de casas e de infraestrutura ao longo da costa contemplem medidas de adaptação a eventos extremos ligados à elevação do nível do mar. E os recursos também têm que estar disponíveis agora, e não daqui a décadas. No entanto, os eventuais benefícios só serão sentidos daqui a 30 anos ou mais. Há, portanto, uma assimetria entre custos e benefícios. Serão nossos filhos e netos a se beneficiar, mas seremos nós a arcar com os custos.

O estudo foi desenvolvido em cinco blocos, apresentado nesta publicação da seguinte maneira:

## Capítulo 2: Cenários de clima no Brasil

**Descreve o processo** físico resultante do aquecimento global e delinea os cenários futuros do clima. A pergunta básica é: “Quais as variações e as mudanças esperadas de temperatura e de chuva nas diversas regiões do país?” Os resultados dos modelos são usados para projetar cenários de temperatura e pluviosidade, entre outros parâmetros. Todos os demais capítulos têm como base esses dados gerados pelo INPE, exceto no caso das análises sobre a zona costeira e sobre a biodiversidade.

## Capítulo 3: Impactos ambientais, econômicos e sociais

**A partir das projeções** climáticas futuras, as mudanças são traduzidas em resultados físicos específicos. A pergunta básica deste bloco é: “Dadas as projeções das variações climáticas, quais os impactos econômicos, sociais e ambientais esperados?” Neste item incluem-se as análises setoriais e os modelos que ligam variações de temperatura e pluviosidade às

alterações específicas nos setores econômicos (às vezes denominados de “dose-resposta”). Consiste de modelos temáticos e setoriais “de baixo para cima” (equilíbrio parcial), nos quais impactos e possíveis respostas à mudança do clima são analisados a partir de uma perspectiva microeconômica: recursos hídricos; produção agrícola; padrão de uso da terra; setor energético; biodiversidade e seus serviços; e zona costeira. Inclui também uma análise sumária dos impactos sobre a região Nordeste, particularmente afetada. Outros setores – notadamente infraestrutura urbana – não foram incluídos para limitar o escopo do estudo.

## Capítulo 4: Adaptação à mudança do clima

**A literatura dedicada às análises** técnicas e econômicas sobre adaptação é bastante limitada, em contraste com a mitigação, de modo que o tratamento dado à questão é ainda incipiente. Os setores para os quais se analisam algumas alternativas de adaptação são (i) agricultura, (ii) energia e (iii) zona costeira. Na medida do possível, comparam-se os custos destas medidas com os benefícios gerados [redução de danos].

## Capítulo 5: Análise macroeconômica

**Avalia de forma integrada** os impactos sobre a economia brasileira e sobre as diferentes regiões causados por mudanças do clima, principalmente em termos de temperatura e pluviosidade, bem como os impactos de políticas de adaptação no Brasil, e como eles interagem com outros fatores macroeconômicos. O núcleo central da modelagem utilizada é um modelo de equilíbrio geral computável (EGC) capaz de lidar de maneira consistente com outros modelos do estudo, notadamente os de demanda e oferta de energia, uso da terra e de produtividade agrícola. Estes, por sua vez, são integrados a modelos climáticos.

## Capítulo 6: Redução de emissões

**Discute as principais opções** do país de contribuir com o esforço global para reduzir emissões, primordialmente: (i) custo de redução de emissões na região amazônica; (ii) impacto dos biocombustíveis tanto para reduzir emissões domésticas quanto de outros países; e (iii) utilização de uma taxa sobre o carbono emitido como instrumento de mitigação e seus impactos na economia. Um quarto item fundamental, eficiência energética, foi objeto específico de um estudo do Banco Mundial em parceria com o governo brasileiro, tendo entre seus principais executores membros da mesma equipe dos capítulos de energia; este trabalho faz apenas uma análise sumária baseada no referido trabalho.



## D. Limitações

**Este estudo constitui** uma primeira aproximação na análise das mudanças climáticas globais sob o enfoque econômico. O estudo avalia parte do espectro de riscos associados à mudança do clima no Brasil. Apesar de suas limitações, de resto comuns em estudos semelhantes e com os mesmos propósitos gerais, constitui contribuição relevante para abordar a mudança do clima e o delineamento de políticas públicas nessa área.

Uma primeira limitação foi o fato de adotar apenas um modelo climático global no qual se basearam as análises setoriais e econômicas. Esta decisão, deliberada quando do delineamento do estudo em outubro de 2007, teve por origem o conhecimento disponível na época com simulações de funções de distribuição de probabilidade para diversos parâmetros. Além disso, a experiência do INPE com o *downscaling* (redução de escala) dos modelos globais era também limitada.

A segunda limitação é a abordagem determinística do estudo, isto é, a não consideração explícita do risco e da incerteza. Como já mencionado, uma característica básica da mudança do clima global é o aumento das oscilações dos fenômenos climáticos acompanhado da possibilidade de ocorrência de eventos extremos. Esta primeira aproximação adota valores médios esperados, tendo por foco o que é hoje conhecido com um alto grau de certeza, isto é, os custos imediatos de pequenas mudanças de temperatura sobre um conjunto limitado de impactos mensuráveis. Estudos futuros deverão focalizar os eventos de baixa probabilidade e de muito alto impacto.

A terceira limitação técnica, que atinge todos os estudos sobre o tema, é o fato de os valores estimados

de precipitações futuras pelos vários modelos climáticos não concordarem em sinal (aumento ou diminuição). Isso limita em grande medida as projeções sobre o clima futuro e, assim, sobre seus potenciais impactos econômicos e decisões quanto às medidas por adotar.

A quarta limitação do estudo decorre da incompleta base de dados e de informações técnicas disponíveis. Estão aí abrangidos desde modelos climáticos e projeções sobre o clima futuro até dados e conhecimentos sobre a cadeia de eventos ecológicos e socioeconômicos, incluindo a valoração econômica. Nos setores mais complexos, ou quando o conhecimento técnico é mais restrito, como no caso da biodiversidade e da zona costeira, as análises feitas e a valoração econômica são preliminares.

Cabe finalmente registrar a não incorporação de mudanças tecnológicas que poderão ocorrer no longo prazo pela falta de cenários e análises sobre as quais se pudessem basear as projeções. Esta decisão decorreu da incipiência dos modelos e das restrições técnicas de ligar todos os modelos, desde as projeções de variações climáticas até seus impactos socioeconômicos.

Concluindo, o presente estudo focalizou a perspectiva nacional, deixando para estudos futuros as análises locais e dos impactos das dimensões institucionais, legais e culturais. Com referência às análises sociais, elas se limitaram ao que surgiu da análise macroeconômica e apenas parcialmente dos diversos capítulos setoriais. Além disso, este estudo não estimou os impactos das mudanças climáticas sobre a infraestrutura, e menos ainda sobre alternativas de adaptação. Trata-se de áreas que recomendam pesquisas futuras, por representarem custos significativos em termos econômicos.







CAPÍTULO 2

Cenários sobre  
o clima no Brasil

# Cenários de clima no Brasil

Este capítulo se baseia no estudo “Cenários futuros sobre o clima no Brasil”, elaborado por uma equipe do CPTEC/INPE liderada por José Marengo e integrada por Lincoln Alves, Luiz Salazar, Roger Torres e Daniel Caetano Santos.

[2] Modelagem nada mais é do que um processo de simulação matemática da realidade por meio de variáveis quantitativas calculadas de maneira interativa com auxílio de computadores.

Ela permite modificar o comportamento de algumas variáveis para antecipar o efeito dessa modificação sobre outras variáveis. Consultar <http://precis.metoffice.com> para o modelo do Hadley Centre e Marengo et al. (2009) e Ambrizzi et al. (2007) em <http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br>

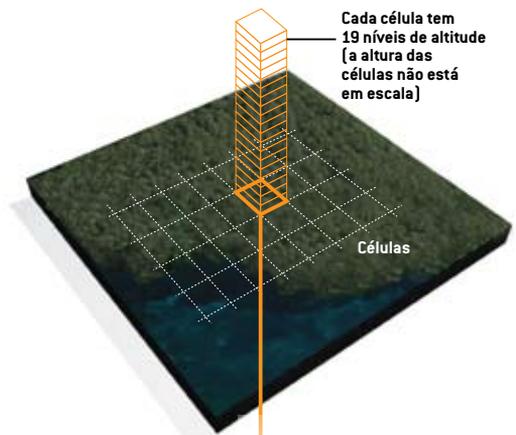
A tarefa de construir cenários futuros de clima no Brasil foi desenvolvida pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) em 2007. As análises dos impactos econômicos apresentados nos próximos capítulos são baseadas nessas projeções de clima, que refletem cenários de alta e baixa emissão global de gases de efeito estufa, respectivamente A2-BR e B2-BR, por sua vez baseados nas projeções globais do IPCC (2007).

## Metodologia

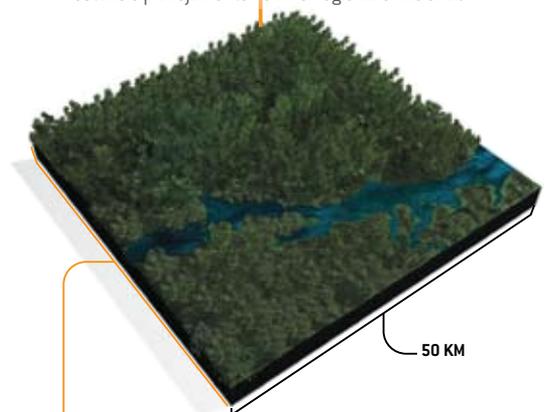
**Modelos climáticos.** Neste estudo foi utilizado o HadRM3P do sistema de modelagem<sup>2</sup> climática regional PRECIS (Providing Regional Climates for Impact Studies) do Hadley Centre, do Reino Unido, que possui uma resolução horizontal de 50 km com dezenove níveis

**COMPUTAÇÃO GLOBAL PARA AÇÃO LOCAL:** redução da escala possibilita previsões regionais

A simulação do comportamento da atmosfera se faz com modelos climáticos globais (GCMs, na abreviação em inglês), programas de computador que integram dados sobre um grande número de variáveis por meio de equações físicas.



Esta técnica matemática chamada de *downscaling* permite refinar as projeções para que forneçam informação sobre porções menores do território. Estas informações são mais úteis para estudo e planejamento no nível regional e nacional.



Neste estudo utilizou-se a ferramenta do modelo regional HADRM3Pt do Hadley Centre britânico e que foi rodado no Brasil. O modelo trabalha com células de 50 km de lado e 19 níveis de altitude (correspondentes a 30 km, já na estratosfera). O GCM fornece a informação inicial, a partir da qual se computam os comportamentos de cada célula em cenários variáveis usando o modelo regional.

## OS CENÁRIOS A2 E B2 DO IPCC

Os conhecidos “cenários do IPCC” são roteiros mais ou menos detalhados encadeando pressuposições sobre o comportamento da economia mundial nas próximas décadas, compondo uma visão possível do desenvolvimento futuro de emissões de substâncias que possam exercer um efeito radiativo potencial (gases de efeito estufa, aerossóis), contribuindo para aquecer ou resfriar a atmosfera. As análises deste estudo concentram-se em torno de dois deles, um mais pessimista (A2) e outro mais otimista (B2).

Sumariamente, o cenário A2 projeta um mundo heterogêneo, voltado para a autossuficiência nacional 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 crescimento econômico não ocorre de forma homogênea e a disparidade de renda entre países ricos e pobres se mantém. Pressupõe-se um fluxo menor de comércio, menor difusão de tecnologia e menor ênfase nas interações econômicas entre regiões.

O roteiro do cenário B2 distingue-se do A2 principalmente pela adoção de políticas para enfrentar os problemas do meio ambiente e da sustentabilidade social. É um mundo em que a população global aumenta a uma taxa inferior à do cenário A2, com níveis intermediários de desenvolvimento econômico e mudança tecnológica menos rápida e mais dispersa. As disparidades internacionais de renda decrescem um pouco mais do que no cenário A2.

na vertical (da superfície até 30 km na estratosfera) e quatro níveis no solo. Para o downscaling (redução de escala) de cenários climáticos futuros foi utilizado um modelo climático global, o HadAM3P, escolhido por ser o único disponibilizado em 2007 com a frequência necessária (saídas a cada seis horas) e por representar satisfatoriamente o clima do presente.

Inicialmente foram feitas integrações do modelo regional para obter a climatologia do modelo para o clima presente (1961-1990) e posteriormente as projeções de clima futuro (2071-2100) para os cenários climáticos A2-BR (altas emissões de gases do efeito estufa, ou GEE) e B2-BR (baixas emissões de GEE). Para os valores dos períodos 2010-2040 e 2041-70 foi aplicada uma regressão linear simples ponto a ponto de grade considerando o clima presente e projeções futuras do modelo regional HadRM3P como variável dependente, e do modelo global HadCM3 como independente.

**Variáveis climáticas.** Das quase 300 variáveis climáticas geradas pelo modelo regional HadRM3P, as

seguintes (principais) foram usadas pelos diferentes grupos de trabalho participantes deste estudo, que tiveram à disposição valores futuros diários de: temperatura (média, máxima e mínima) do ar próximo à superfície; precipitação; fluxos de radiação (solar e de onda longa, proveniente da superfície terrestre); componentes do balanço de energia (radiação líquida, calor sensível e latente); velocidade do vento próximo à superfície; e umidade atmosférica (relativa e específica).

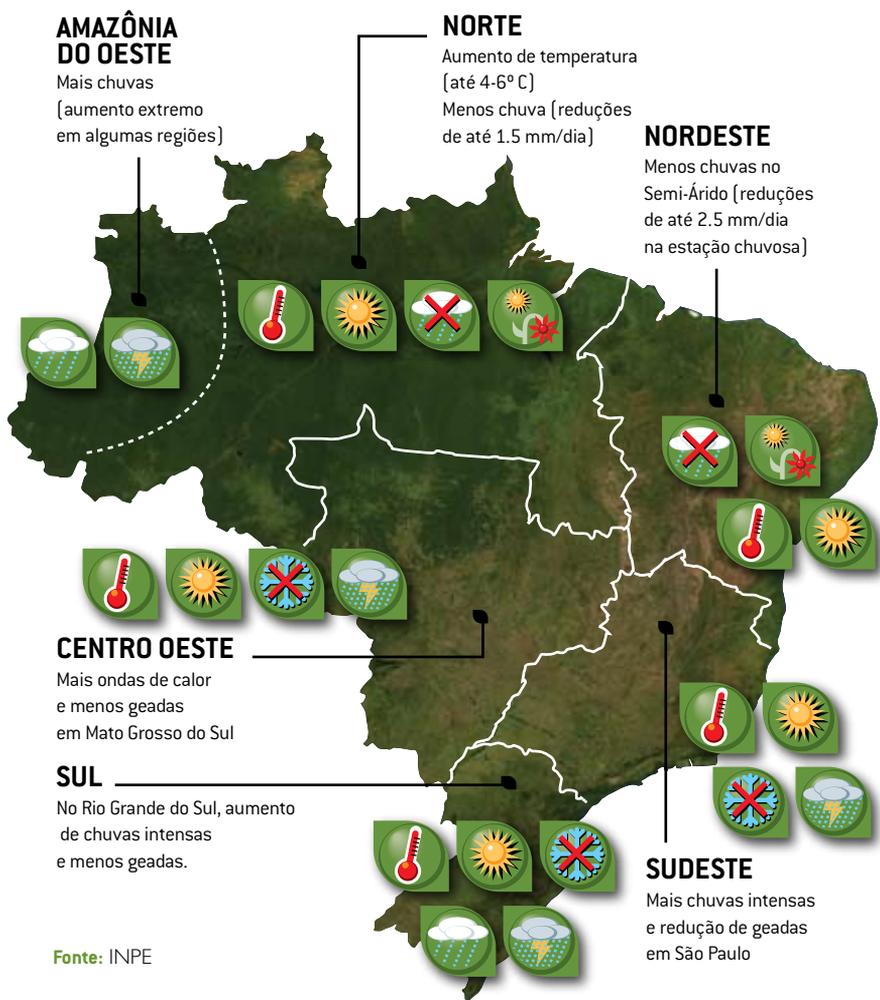
### Resultados: projeções futuras de chuva e temperatura

As áreas consideradas mais vulneráveis são notadamente a Amazônia e o Nordeste do Brasil. O aquecimento médio pode chegar a 5°C em 2100 no cenário A2-BR e 3°C no cenário B2-BR, embora na Amazônia o aquecimento gradativo possa chegar, em 2100, a 7-8°C ou 4-6°C, respectivamente. As chuvas tendem a diminuir durante o século XXI, sendo as reduções mais intensas no Nordeste (2-2.5 mm/dia) e na Amazônia (1-1.5 mm/dia). Para todo o Brasil, as projeções indicam aumento da temperatura e de extremos de calor, bem como reduções na frequência de geadas devido a aumento da temperatura mínima, principalmente nos estados do Sudeste, Sul e Centro-Oeste.

### Conclusões e recomendações

O nível de incertezas ainda é significativo. Torna-se importante aprimorar e criar novas ferramentas para avaliar detalhadamente os impactos no Brasil, fornecendo base científica para a tomada de decisões sobre regiões vulneráveis e processos críticos de conservação ambiental. São necessárias análises que incluam as respostas dos ecossistemas às forçantes climáticas de escala global e à corrente dinâmica de alterações causada pela ocupação humana, e que apontem os fatores que causam os impactos mais relevantes. #

### MUDANÇAS NO BRASIL: Projeções do clima por região no ano 2100



#### Confiabilidade

■ Baixa ■ Média ■ Alta

Aumento de temperatura	Mais ondas de calor	Menos geadas	Aumento de chuvas
■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■
Aumento de chuvas extremas	Redução de chuvas	Aumento de dias secos	Redução de dias secos
■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■

Fonte: INPE



An aerial photograph of a coastal town built on a hillside, overlooking a blue bay. The surrounding landscape is covered in dense green forest. A large, semi-transparent black text box is overlaid on the right side of the image, containing the chapter title. The background image is partially obscured by semi-transparent green and blue geometric shapes.

## CAPÍTULO 3

# Impactos ambientais, econômicos e sociais

# Impactos ambientais, econômicos e sociais

**A pergunta básica** que permeia as subseções deste capítulo é: “Dadas as projeções das variações climáticas, quais os impactos econômicos, sociais e ambientais esperados?” Dela resultam análises setoriais e os modelos que relacionam variações de temperatura e pluviosidade às alterações específicas nos diferentes setores econômicos (por vezes denominados “dose-resposta”). Os temas analisados são: recursos hídricos; produção agrícola; padrão de uso da terra; setor energético; biodiversidade e seus serviços; e zona costeira.



# 3.1. Recursos hídricos

Esta seção se baseia no estudo “Estimativas da oferta de recursos hídricos no Brasil em cenários futuros de clima (2015 – 2100)”, elaborado por uma equipe da Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FDBS). A equipe foi formada por Enéas Salati (coordenador), Walfredo Schindler, Daniel de Castro Victoria, Eneida Salati, João Carlos Simanke de Souza e Nilson Augusto Villa Nova.

A alteração da disponibilidade hídrica superficial e subterrânea tem implicações importantes sobre a economia, a qualidade de vida e os ecossistemas. O estudo de sua variação deve ser o primeiro na investigação da cadeia de alterações e impactos da mudança climática sobre os diversos setores. Com base nos dados do INPE, o estudo partiu do balanço hídrico no Brasil, nos períodos de 2011 a 2041, 2041 a

2070 e 2071 a 2100, para os cenários A2-BR e B2-BR, comparados com o período de 1961-1990 calculados para 12 bacias hidrográficas, segundo a divisão da ANA (Agência Nacional de Águas). Foi também estimada a variação da disponibilidade hídrica subterrânea para as regiões hidrográficas. Os resultados gerados foram então empregados para estimar os impactos da disponibilidade hídrica sobre a produção hidrelétrica e agrícola.

[3] Perda de água de um ecossistema para a atmosfera, por evaporação ou transpiração das plantas

**BACIAS MAIS SECAS:** com exceção do Sul-Sudeste, cai a vazão dos rios

BACIA HIDROGRÁFICA	Excedentes Hídricos (vazões) (m³/s)						
	ANA	Cenário B2-BR			Cenário A2-BR		
		1961-1990	2011-2040	2041-2070	2071-2100	2011-2040	2041-2070
Tocantins	13.624	9.825	9.091	7.376	9.945	7.545	6.434
Amazônica	131.047	122.911	111.609	98.944	123.238	97.197	91.930
Paraguai	2.368	1.915	2.169	2.175	2.145	2.023	3.470
Atlântico NE Oriental	779	119	83	14	133	67	2
Atlântico Leste	1.492	381	375	99	423	328	88
Paraná	11.453	9.700	9.649	10.699	10.764	10.038	12.669
Parnaíba	763	241	150	108	261	98	75
São Francisco	2.850	1.088	1.227	1.331	1.223	1.273	1.504
Atlântico Sul	4.174	4.643	4.496	4.832	4.659	4.239	4.599
Uruguai	4.121	4.577	4.511	4.783	4.435	4.084	4.342
Atlântico Sudeste	3.179	2.547	2.674	2.779	3.174	2.966	3.036
Atlântico NE Ocidental	2.683	1.935	1.670	1.570	1.915	1.395	1.250

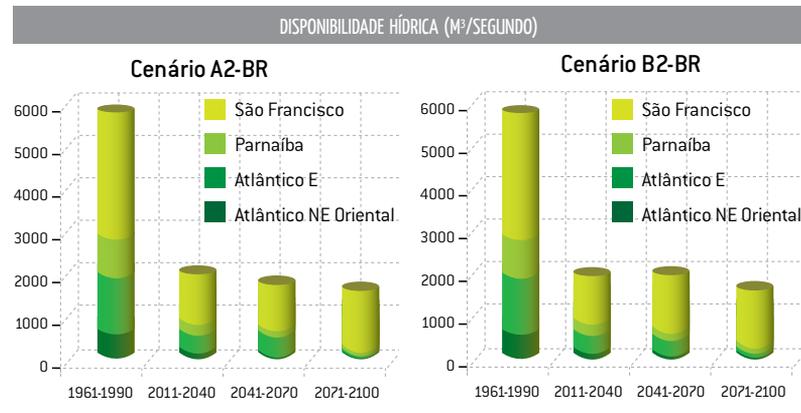
### Metodologia

Foram definidos e verificados os métodos para determinação da evapotranspiração<sup>3</sup> potencial e do cálculo do balanço hídrico para o território brasileiro. Calculou-se o balanço hídrico de forma espacializada e georreferenciada, em um sistema de informações geográficas com resolução espacial de 0,5° x 0,5° de latitude/longitude (50 km x 50 km, ou 2.500 km²), utilizando médias climáticas mensais de longo prazo.

A determinação do melhor método para cada região hidrográfica foi feita comparando o resultado do balanço hídrico com as estimativas de descarga, precipitação e evapotranspiração de longo prazo medidas pela ANA. A relação evapotranspiração real/precipitação foi utilizada na comparação entre o balanço hídrico modelado e o observado para as diversas regiões.

Para a simulação do balanço hídrico do clima presente empregaram-se dados climáticos da base CRU05, considerada padrão climático para o período 1961-1990. Dois métodos para calcular a evapotranspiração potencial (ETP) foram testados, Thornthwaite e Camargo. As estimativas foram adaptadas para climas mais secos e úmidos utilizando dados de temperaturas máxima e mínima (Camargo et al. 1999).

**DIMINUI ÁGUA DISPONÍVEL NO NORDESTE:** Vazão de bacias reduz-se a um terço da média histórica



### Resultados

Os resultados são alarmantes para algumas bacias, principalmente na região Nordeste. Nas bacias do Nordeste Oriental e Atlântico Leste estima-se uma redução brusca das vazões até 2100 para os dois cenários, chegando a valores quase nulos. Para a bacia do São Francisco projeta-se uma diminuição da vazão no período 2011-2040, com tendência de pequeno aumento no período de 2041 a 2100. Para as bacias do

Atlântico Sul e Uruguai o resultado obtido é uma pequena tendência de aumento das vazões até 2100. A vazão da bacia do Atlântico Sudeste apresenta uma tendência de pequena diminuição até o ano 2100 para o cenário B2-BR e praticamente não se altera no cenário A2-BR.

Diante das muitas incertezas envolvidas e do sinal variável obtido de modelos climáticos (aumento/diminuição de precipitação regional), foram ainda feitas comparações entre os possíveis efeitos das mudanças climáticas globais nos excedentes hídricos, calculados pelo método de Thornthwaite-Mather, para oito regiões hidrográficas do Brasil, em uma escala aproximada de 2° x 2° de latitude/longitude, com dados provenientes do estudo em uma escala de 50 km x 50 km, a partir das médias obtidas de 15 modelos climáticos globais, cujos resultados estão na tabela Bacias Hidrográficas (abaixo).

Os resultados evidenciam as discrepâncias das projeções dos diversos modelos climáticos globais e suas implicações em termos de excedentes hídricos. É particularmente importante destacar as projeções menos dramáticas de quedas na região nordeste – a média dos demais modelos projeta para o Parnaíba, por exemplo, um excedente de 56% até 2100, ao contrário de 14% previsto pelo modelo aqui utilizado do Hadley Centre (cenário B2-BR). Estes mesmos números para o Atlântico NE Ocidental são 86% e 59%. No caso das bacias do Paraguai e do Paraná, as projeções tem inclusive sentidos contrários: excedente de 40% ao invés de 147% (Paraguai) e 47% ao invés de 110% (Paraná, ambos no cenário A2-BR em 2100).

Com respeito à variação da disponibilidade das águas subterrâneas, observou-se que, levando em consideração apenas a variação da precipitação pluviométrica para os cenários A2-BR e B2-BR, as bacias hidrográficas Amazônia, Atlântico Sul, Atlântico Sudeste, Uruguai, Paraná e Paraguai deverão manter

ou mesmo aumentar a oferta. As demais bacias hidrográficas deverão sofrer recarga deficitária.

### Conclusões e Recomendações

Os resultados deste estudo são uma primeira aproximação ao tema. Em especial, deve-se chamar atenção para o fato de que os valores estimados pelos vários modelos das precipitações futuras não concordam em sinal (aumento ou diminuição). No entanto, as disponibilidades hídricas superficiais para quase todas as regiões no Brasil apresentam uma diminuição de acordo com os dados de clima fornecidos pelo INPE, especialmente para o Nordeste, com grande diminuição do excedente hídrico.

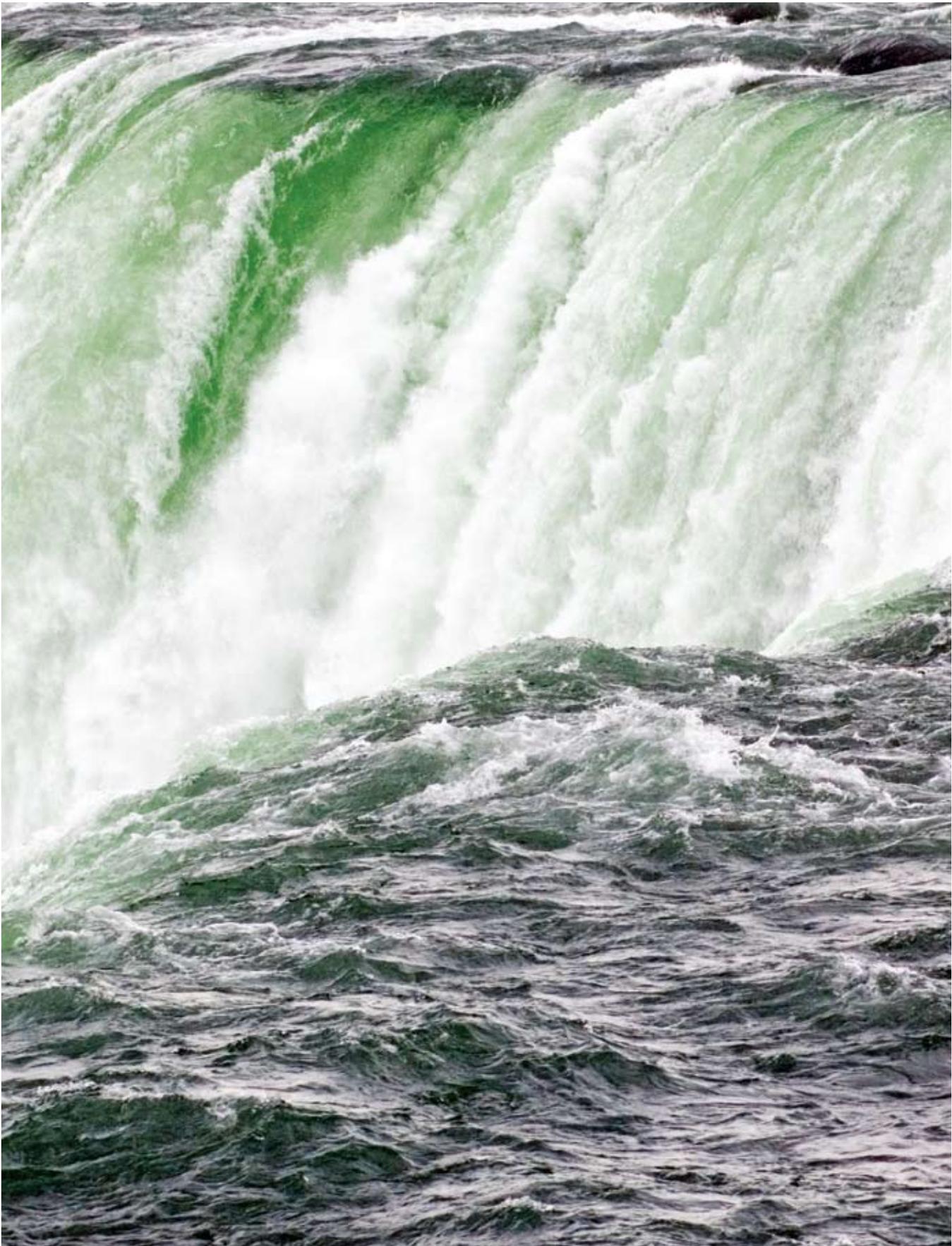
Praticamente em todas as bacias hidrográficas do Brasil a tendência é de diminuição das vazões, inclusive nas regiões em que os modelos indicam um aumento das precipitações. Nestes casos a diminuição das vazões é decorrente das perdas por evapotranspiração causada pelo aumento da temperatura.

Em razão da gravidade já existente na oferta de recursos hídricos na região do Nordeste Semi-Árido, os dados indicam que em apenas uma ou duas décadas ela poderá tornar-se crítica. É urgente que os órgãos de recursos hídricos, planejamento e ação social iniciem ou reforcem programas de gestão integrada, identificando situações mais graves e usos prioritários, antecipando medidas de adaptação das populações mais pobres e das atividades econômicas mais dependentes desses recursos. O aspecto crítico da situação sugere que no horizonte de 10 a 20 anos pode ocorrer migração de populações atingidas mais fortemente pelas secas, gerando por sua vez a um aumento da demanda por serviços principalmente nas áreas urbanas da região, agravando condições socioeconômicas que já figuram entre as mais desfavoráveis do país. >>

**BACIAS HIDROGRÁFICAS:** comparação dos resultados da média de 15 modelos climáticos alternativos e HadRM3P, relativamente aos excedentes de 1961 a 1990

BACIAS HIDROGRÁFICAS	1961 a 1990	Médias dos Modelos 2° x 2°lat/lon						HadRM3P 50 km x 50 km					
		Cenário B2-BR			Cenário A2-BR			Cenário B2-BR			Cenário A2-BR		
		2011-2040	2041-2070	2071-2100	2011-2040	2041-2070	2071-2100	2011-2040	2041-2070	2071-2100	2011-2040	2041-2070	2071-2100
Rio Tocantins	100%	83%	77%	73%	84%	73%	63%	72%	67%	54%	73%	55%	47%
Rio Amazonas	100%	88%	82%	80%	89%	80%	73%	93%	84%	75%	93%	73%	70%
Rio Paraguai	100%	68%	60%	59%	73%	54%	40%	81%	91%	92%	90%	85%	147%
Rio Parnaíba	100%	69%	59%	56%	70%	54%	47%	32%	19%	14%	34%	13%	10%
Rio São Francisco	100%	73%	57%	43%	72%	46%	30%	38%	42%	47%	43%	45%	53%
Atlântico NE Ocidental	100%	88%	87%	86%	92%	85%	80%	72%	62%	59%	71%	52%	47%
Região Sul	100%	95%	93%	92%	95%	90%	86%	111%	109%	116%	109%	101%	107%
Rio Paraná	100%	80%	74%	67%	83%	67%	47%	84%	84%	93%	94%	88%	110%

PAWEL CHERKO/SHUTTERSTOCK



## 3.2. Setor de energia

Esta seção se baseia no estudo “ Impactos na demanda e na confiabilidade no setor de energia”, elaborado por uma equipe do Programa de Planejamento Energético da COPPE/UFRJ. O estudo foi coordenado por Roberto Schaeffer, Alexandre Szklo e André Frossard Pereira de Lucena, tendo como co-autores Raquel de Souza, Bruno Borba, Isabella Vaz Leal da Costa, Amaro Olímpio Pereira Júnior e Sergio Henrique Cunha.

[4] Utilizou-se o ano 2035 porque era o ano para o qual a modelagem estava disponível. Ademais, 2035 é um horizonte no qual as inovações tecnológicas são ainda previsíveis. Estima-se que após 2035 podem ocorrer rupturas tecnológicas que modificariam o paradigma da relação oferta/demanda de energia.

[5] Energia firme corresponde à maior quantidade de energia que o sistema hidrelétrico pode fornecer na pior condição hidrológica, por sua vez caracterizada pelo pior período crítico (quando um reservatório vai do nível mais cheio ao mais vazio). Energia média indica a quantidade de energia que o sistema pode atender dada uma condição hidrológica média.

A **mudança do clima** tem implicações sobre a produção e o consumo de energia, em especial sobre algumas fontes renováveis de energia. De forma a investigar a vulnerabilidade do sistema energético brasileiro, analisaram-se os possíveis impactos sobre a geração hidrelétrica, a produção de biocombustíveis líquidos e a demanda por ar condicionado nos setores residencial e de serviços até o ano 2035<sup>4</sup>. Os impactos sobre o potencial eólico e a geração termelétrica também foram analisados, mas são menos significativos.

### Metodologia

**Impactos sobre a hidreletricidade.** Investigaram-se os impactos de novas condições climáticas sobre a geração de hidreletricidade como resultado de modificações no nível e na variabilidade das vazões

naturais que fornecem água aos reservatórios das usinas. Dividiu-se a análise em duas etapas. Na primeira, com base nas projeções apresentadas na seção anterior, projetaram-se novas séries de vazão para alimentar um modelo desenvolvido pelo Centro de Pesquisas em Energia Elétrica (CEPEL), SUISHI-0, que simula a operação do sistema hidrelétrico interligado para uma determinada condição hidrológica. O modelo calcula a energia firme e a energia média<sup>5</sup> para uma dada configuração do sistema hidrelétrico e um dado conjunto de séries de vazão, medidas que foram utilizadas na avaliação dos impactos nos cenários A2-BR e B2-BR.

**Impactos sobre a produção de biocombustíveis.** Estes impactos incidem primordialmente sobre o cultivo de biomassa, tanto



para a manufatura de etanol como para a de biodiesel. Na seção 3.3 a seguir, estima-se a evolução das áreas propícias à produção de cana-de-açúcar e outras oleaginosas (soja e girassol), segundo os cenários climáticos A2-BR e B2-BR. Com base nesse estudo e em valores de produtividade industrial, analisou-se a possibilidade de novas condições climáticas restringirem o atendimento da demanda projetada para biocombustíveis no país.

### Impactos sobre a demanda de eletricidade.

Para projetar o impacto na demanda de energia para condicionamento de ar nos setores residencial e de serviços, estimou-se a elevação do consumo vinda tanto da elevação da temperatura média (efeito coeficiente de desempenho) quanto do aumento da utilização pela maior frequência de dias quentes (efeito degree-days).

## Resultados

**Produção hidrelétrica.** O principal impacto identificado foi uma queda na confiabilidade do sistema hidrelétrico e fortes efeitos regionais na geração hidrelétrica no Norte-Nordeste. De maneira geral, embora a energia média tenha se mantido quase constante nos cenários A2-BR e B2-BR, a energia firme sofre uma forte queda, de cerca de 30%. Desagregando

**MENOS ELETRICIDADE EM 2100:** energia firme cai em todas as bacias, em especial no Nordeste e no Norte

BACIA	VARIÇÃO EM RELAÇÃO A CENÁRIOS SEM MUDANÇA DO CLIMA			
	Cenário A2-BR		Cenário B2-BR	
	E. Firme	E. Média	E. Firme	E. Média
Amazonas	-36%	-11%	-29%	-7%
Tocantins Araguaia	-46%	-27%	-41%	-21%
São Francisco	-69%	-45%	-77%	-52%
Parnaíba	-83%	-83%	-88%	-82%
Atlântico Leste	-82%	-80%	-82%	-80%
Atlântico Sudeste	-32%	1%	-37%	-10%
Atlântico Sul	-26%	8%	-18%	11%
Uruguai	-30%	4%	-20%	9%
Paraguai	-38%	4%	-35%	-3%
Paraná	-8%	43%	-7%	37%
TOTAL	-31,5%	2,7%	-29,3%	1,1%

resultados por bacia, verifica-se que as mais afetadas estão no Nordeste (principalmente) e no Norte, tanto em termos de energia média quanto de energia firme. Na verdade, a energia média do sistema se mantém só em função da variação positiva nas bacias do Sul e Sudeste, especialmente a do Paraná, que possui forte participação no agregado nacional. Os resultados de balanço hídrico para as bacias do Nordeste são extremamente negativos. Nas bacias do Parnaíba e do Atlântico Leste o excedente hídrico chega a cair mais de 80% em alguns pontos da projeção, com forte queda na produção de energia.

**Produção de biocombustíveis.** No caso do etanol, constatou-se que as alterações climáticas não provocarão consequências negativas para a cultura da cana. Mudanças na distribuição agrícola ocorrerão, com a cultura deslocando-se para as regiões mais ao sul do país, sem no entanto gerar perdas econômicas nem reduções na quantidade produzida.

De acordo com o estudo sobre os impactos das mudança do clima sobre o padrão de uso da terra, áreas com baixo risco de produção de oleaginosas deverão reduzir-se com a alteração climática no caso da soja e do girassol, matéria-prima para a fabricação de biodiesel. A deficiência hídrica deverá tornar-se uma realidade no Nordeste, forçando a migração dessas culturas para regiões mais ao sul do país, que se tornariam ainda mais propensas à agricultura com a redução das geadas.

**Demanda de energia.** Os resultados projetam maior consumo de eletricidade, nos setores



DAVID DAVIS/SHUTTERSTOCK



MICHAEL HIEBER/SHUTTERSTOCK

residencial e de serviços, com condicionamento de ar, em razão de temperaturas mais elevadas. No pior cenário, o aumento fica em torno de 6% [residencial] e 5% [serviços].

### Conclusões e recomendações

O impacto mais relevante é a perda de confiabilidade na geração de hidreletricidade, por uma combinação de efeitos climáticos desfavoráveis com uma grande dependência desse recurso no Brasil. Projeta-se maior vulnerabilidade no Norte e no Nordeste, as regiões menos desenvolvidas do país. Devem-se considerar seriamente, portanto, políticas adicionais de desenvolvimento socioeconômico nessas

regiões, a fim de prepará-las para lidar com tais impactos.

A confiabilidade do sistema de geração de eletricidade dependerá de uma capacidade instalada maior, que poderá ficar ociosa grande parte do tempo. O setor energético deve buscar a flexibilização de opções de geração, abrangendo não só aspectos operacionais e institucionais, mas também a diversificação da matriz para reduzir a dependência de uma única fonte de energia. Além da geração a gás natural, a energia eólica e a geração a bagaço de cana podem ser alternativas interessantes, ainda que a geração a gás tenha a vantagem de apresentar maior flexibilidade operacional.

## 3.3. Produção agrícola

Esta seção se baseia no estudo “Impactos da Mudança do Clima na Produção Agrícola”, elaborado por Hilton Silveira Pinto (Cepagri/Unicamp), Eduardo Assad (Embrapa Agropecuária), e Giampaolo Q. Pellegrino. No trabalho do zoneamento de riscos, os pesquisadores da Embrapa e da Unicamp contaram com a cooperação de outras instituições nacionais e estaduais e com a gerência e o apoio financeiro do Proagro, do Ministério da Agricultura.

Esta seção tem por objetivo antecipar as tendências de alteração do potencial agrícola das regiões produtoras em consequência da mudança do clima. As projeções abarcam nove culturas: algodão, arroz, café, cana-de-açúcar, feijão, girassol, mandioca, milho e soja. Os resultados indicam em quais municípios poderão ser plantadas essas culturas com baixo risco de frustração de safras.

### Metodologia

A avaliação dos impactos seguiu a metodologia utilizada no programa de zoneamento de riscos climáticos adotada pelos ministérios da Agricultura e do Desenvolvimento Agrário para orientar o crédito e o seguro agrícola. O zoneamento estabelece níveis de risco das regiões para vários tipos de cultura, com perdas de safras de no máximo 20%, indicando o que plantar, onde plantar e quando plantar, de acordo com a disponibilidade climática regional, em três tipos de solos.

Utilizou-se uma modelagem que projeta cenários climáticos futuros para rearranjar a distribuição das culturas agrícolas de acordo com o aumento das temperaturas. Tomou-se em conta também o consequente aumento da evapotranspiração e da

deficiência hídrica.

Para avaliar a disponibilidade de água no solo durante as fases críticas das culturas, foi utilizado o conceito de ISNA (Índice de Satisfação da Necessidade de Água), representado pela relação entre a evapotranspiração real e a evapotranspiração máxima, que tipicamente fica ao redor de 0,60. Foram estimadas as variações de áreas cultivadas, do número de municípios aptos ao cultivo, da produção e dos valores econômicos associados a variações de produtividade, tendo como base o zoneamento oficial de riscos climáticos de 2007.

Os modelos utilizados neste estudo, que relacionam os impactos das projetadas mudanças climáticas na agricultura brasileira, não levaram em consideração de maneira explícita e completa os efeitos dos extremos climáticos na agricultura e pecuária. Portanto, eles não representam as perdas na agricultura associadas à projetada maior frequência de ondas de calor, secas, veranicos, chuvas intensas e períodos úmidos, entre outros, os quais sabidamente são a principal causa ambiental de perdas e prejuízos à atividade agrícola. Nesse sentido, alguns impactos positivos, encontrados principalmente para o Sul do Brasil, poderiam ser reduzidos, ou mesmo tornarem-se impactos negativos, se os efeitos dos extremos climáticos fossem explicitamente considerados.

### Resultados

Os resultados mostram que, com exceção de um impacto positivo sobre a cana-de-açúcar e parcialmente sobre a mandioca, todas as outras culturas terão resultados negativos. O aumento das temperaturas deverá reduzir as áreas com baixo risco de produção, como no caso extremo da soja, que no cenário A2-BR terá sua área favorável de plantio encolhida em 41% até o ano 2070. Já a cana poderá ter expansão de até 118% nos mesmos cenário e ano.

Os maiores impactos afetarão soja, milho e café. As culturas de milho, arroz, feijão, algodão e girassol deverão sofrer um impacto significativo no Agreste Nordestino, hoje responsável pela maior parte da produção regional de milho, e na região dos cerrados nordestinos – sul do Maranhão, sul do Piauí e oeste da Bahia.



**COLHEITA AMEAÇADA:** áreas propícias se reduzem para todas as culturas, com exceção da cana

CULTURAS	VARIACÃO EM RELAÇÃO À ÁREA ATUAL					
	Cenário B2-BR			Cenário A2-BR		
	2020	2050	2070	2020	2050	2070
Algodão	-11%	-14%	-16%	-11%	-14%	-16%
Arroz	-9%	-13%	-14%	-10%	-12%	-14%
Café	-7%	-18%	-28%	-10%	-17%	-33%
Cana	171%	147%	143%	160%	139%	118%
Feijão	-4%	-10%	-13%	-4%	-10%	-13%
Girassol	-14%	-17%	-18%	-14%	-16%	-18%
Mandioca	-3%	-7%	-17%	-3%	-13%	-21%
Milho	-12%	-15%	-17%	-12%	-15%	-17%
Soja	-22%	-30%	-35%	-24%	-34%	-41%



TERRANCE EBERSHIN/SHUTTERSTOCK

**Cenário A2-BR.** A perda de área potencial é elevada em todas as lavouras anuais, tornando-se quase nula no caso do arroz. A cana-de-açúcar se expande um pouco e a mandioca, ligeiramente mais. Nas três principais culturas anuais (soja, milho e algodão), o sentido e a dimensão relativa do impacto já aparecem na simulação de 2020.

Na pecuária, um aumento de temperatura da ordem de 3°C pode causar a perda de até 25% da capacidade de pastoreio para bovinos de corte e um aumento de custo de produção de 20% a 45%. A carne brasileira se tornaria mais cara que a de seus concorrentes mais importantes (Uruguai, Argentina e Austrália), caso estes países não sofram igualmente as consequências da mudança do clima.

Na hipótese de uma elevação generalizada de preços das fontes de calorias e proteínas para alimentação animal, a mandioca aparece como um substituto importante. A cana-de-açúcar se consolida como fonte de energia primária, e a ampliação significativa da área apta para seu plantio sugere que haveria uso econômico para todo o bagaço e parte das folhas na cogeração de energia elétrica.

**Cenário B2-BR.** As três lavouras de maior importância econômica para o Centro-Oeste – soja, milho e algodão – apresentam a maior redução de área potencial, seguidas de arroz e feijão. O café deve ter elevada redução de área potencial e se deslocar para o sul. Cana-de-açúcar e mandioca são as únicas que apresentam possibilidade de expansão, em especial a primeira.

### Conclusões e Recomendações

Os cenários analisados afetarão o agronegócio do país como um todo. Algumas tecnologias podem ser recomendadas, como o plantio direto na palha, que já é utilizado em cerca de 22 milhões de hectares, pois diminui sensivelmente o risco de perda de safra por seca. Outra tecnologia indicada é a integração pecuária-lavoura-floresta, que permite a recuperação de áreas degradadas de forma rentável.

Uma política que deve ser fortalecida é a de melhoramento genético das culturas direcionado para tolerância ao calor e à seca. Considerando que uma única variedade melhorada demora cerca de dez anos para ser desenvolvida, além de outros três, no mínimo, para ser multiplicada, os projetos têm de ser iniciados de imediato.

No Brasil, cerca de 60% da produção agrícola provém da agricultura familiar ou de pequena escala. Sistemas de extensão agrícola deveriam ser desenvolvidos para que tais agentes estabeleçam comunicação rápida e integrada com centros de pesquisas ou de divulgação técnica, como no caso do acesso a dados meteorológicos públicos.

## 3.4. Padrão de uso da terra

Esta seção se baseia em um estudo “Impactos da Mudança do Clima no Uso da Terra” elaborado por equipe do IPEA composta por José Feres (coordenador), Juliana Speranza, Paulo Antônio Viana, Thaís Barcellos e Yanna Braga.

A **decisão dos agricultores** sobre qual uso dar à terra não depende apenas da fenologia<sup>6</sup> das plantas e de sua resposta à mudança do clima, mas igualmente de variáveis econômicas, que levarão a importantes diferenças regionais nas estratégias de adaptação dos produtores rurais. Por exemplo, dependendo do preço dos insumos, numa região típica produtora de soja cuja produtividade caia muito por conta do aumento da temperatura, pode valer a pena aumentar o uso de fertilizantes, compensando o efeito “fenológico” sobre a planta. Especificamente, esta seção avalia os efeitos da mudança do clima sobre as áreas de lavoura, pasto e floresta dos estabelecimentos agrícolas brasileiros, a partir de um modelo simulador de uso da terra no nível municipal.

### Metodologia

No modelo de uso da terra empregado, os parâmetros estimados para as equações de pasto, lavoura e floresta permitem analisar de que maneira as

alocações de terra reagem a mudanças das diferentes variáveis explicativas (preço dos produtos, preço dos insumos e fatores agroclimáticos). A partir deles, é possível simular o impacto da mudança do clima sobre as variações de área.

Primeiramente, foram simuladas áreas destinadas a cada um dos três tipos de uso, com base nas médias de temperatura e precipitação projetadas para o período-base (1961-1990). Em seguida, simularam-se as áreas alocadas para cada tipo de uso considerando a mudança do clima projetada. Por fim, foi calculada a variação percentual da área destinada a cada tipo de uso.

A construção das variáveis envolveu a compatibilização de diferentes bases de dados. As relativas aos tipos de uso – lavoura, pasto e florestas – foram construídas com dados municipais do Censo Agropecuário do IBGE (1996). A variável produtividade agrícola foi calculada como média municipal (razão entre quantidade colhida e área colhida). Foram



[6] Estudo das relações entre processos ou ciclos biológicos e o clima.



analisadas sete culturas (arroz, cana-de-açúcar, feijão, fumo, milho, soja e trigo), que representam parcela significativa da produção agrícola nacional.

## Resultados

A mudança do clima poderá causar redução entre 15% e 20% das áreas de florestas e matas localizadas nos estabelecimentos agrícolas, que cederiam espaço para outros usos, dependendo do cenário e do horizonte temporal considerados. A conversão das áreas florestais deverá ocorrer sobretudo para o uso na pecuária, com aumento de área de pastagens entre 7% e 11%.

Destacam-se a variação positiva nas áreas de lavoura e pasto na Região Norte, sugerindo uma maior pressão do desmatamento na região amazônica, a expressiva redução das matas e um aumento das áreas de pastagem na Região Nordeste, o aumento significativo da área de lavoura em detrimento das áreas de pastos e florestas no Centro-Oeste e o aumento da pressão sobre os remanescentes florestais nas regiões Sul e Sudeste.

Além da questão da mudança do uso da terra, foram analisados também os impactos das mudanças climáticas sobre a produtividade média de sete culturas: arroz, cana-de-açúcar, feijão, fumo, milho, trigo e soja. Os resultados sugerem que as regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste serão afetadas negativamente pelas mudanças climáticas em termos de produtividade agrícola. Em particular, a queda prevista de produtividade das culturas de subsistência no Nordeste (feijão, arroz e milho têm quedas entre 20% e 30% conforme o cenário e o período) poderá ter importantes consequências socioeconômicas, uma vez que atinge diretamente a agricultura familiar.

## Conclusões e Recomendações

Em vista da tendência de redução das áreas florestais nos estabelecimentos agrícolas, recomenda-se adotar políticas de ordenamento de uso de solo para garantir o cumprimento das metas de redução de desmatamento definidas pelo governo brasileiro. O zoneamento ecológico-econômico e agrícola, no plano estadual, pode ser um instrumento poderoso para conter a conversão de áreas de floresta nas propriedades e direcionar a produção agropecuária para áreas abandonadas ou de pastagens degradadas, se o poder público providenciar também financiamento e assistência técnica para tornar sua utilização rentável. Além disso, tendo em vista as perdas de produtividade nas culturas de subsistência do Nordeste, recomenda-se o desenvolvimento de tecnologia para adaptação dos cultivares a condições climáticas adversas e redução da vulnerabilidade dos produtores agrícolas da região.

**COMO MUDA O USO DO SOLO EM CADA REGIÃO:** tendências projetadas para estabelecimentos rurais



**PROPRIEDADES COM MENOS FLORESTAS:** redução vai de 15% a 20% e abre terreno para a pecuária

VARIACIONES DE ÁREAS DE LAVOURA, PASTO E FLORESTA NOS ESTABELECEMENTOS AGRÍCOLAS									
REGIÃO	CENÁRIO A2-BR								
	2010 - 2040			2040 - 2070			2070 - 2100		
	Lavoura	Pasto	Floresta	Lavoura	Pasto	Floresta	Lavoura	Pasto	Floresta
<b>Brasil</b>	-1,7%	+11,1%	-17,1%	+3,1%	+11,1%	-19,36%	+11,0%	+6,5%	-15,4%
<b>Norte</b>	-2,4%	+17,7%	-14,6%	+17,9%	+16,7%	-15,8%	+44,1%	+10,4%	-13,3%
<b>Nordeste</b>	-27,6%	+28,3%	-17,9%	-18,9%	+25,1%	-18,7%	+31,8%	+9,8%	-27,2%
<b>Sudeste</b>	-7,0%	+4,9%	-23,2%	+11,1%	+5,9%	-30,6%	-7,6%	+9,6%	-23,8%
<b>Sul</b>	+27,9%	-6,0%	-32,2%	+30,4%	-4,6%	-40,2%	+33,4%	-16,8%	-13,1%
<b>Centro-Oeste</b>	-6,4%	+8,4%	-14,2%	-7,1%	+10,2%	-17,4%	-12,0%	+9,3%	-14,7%
REGIÃO	CENÁRIO B2-BR								
	2010 - 2040			2040 - 2070			2070 - 2100		
	Lavoura	Pasto	Floresta	Lavoura	Pasto	Floresta	Lavoura	Pasto	Floresta
<b>Brasil</b>	+0,5%	+9,9%	-16,2%	+2,7%	+10,6%	-18,2%	-3,0%	+10,1%	-15,0%
<b>Norte</b>	+4,0%	+13,0%	-11,3%	+10,3%	+15,5%	-14,0%	24,9%	12,8%	-13,3%
<b>Nordeste</b>	-26,6%	+25,5%	-15,3%	-23,5%	+25,1%	-16,4%	+12,6%	+14,1%	-22,3%
<b>Sudeste</b>	+13,6%	+3,5%	-25,2%	+16,3%	+3,7%	-28,6%	-20,3%	+13,6%	-24,0%
<b>Sul</b>	+22,6%	-2,7%	-31,8%	+27,1%	-1,7%	-42,1%	+15,9%	-8,6%	-4,7%
<b>Centro-Oeste</b>	-5,1%	+8,0%	-13,8%	-9,1%	9,6%	-15,9%	-15,2%	+10,0%	-15,3%

**Nota:** variações percentuais em relação ao presente



## 3.5. Biodiversidade da floresta amazônica

Esta seção se baseia no relatório “Sumária avaliação econômica dos impactos das mudanças climáticas sobre biomas brasileiros”, elaborado por Bernardo Strassburg (Instituto GAEA e Universidade de East Anglia) com a colaboração de Felipe Cronemberger (UFF) e Gilla Sunnenberg (UEA).

**Os ecossistemas proveem** bens e serviços à humanidade, como a ciclagem de nutrientes, a formação de solos, a regularização do ciclo hidrológico, o controle de poluição e a regulação do clima global. Embora estimativas do valor desses serviços sejam polêmicas, é consenso que possuem elevado valor econômico, talvez na ordem de trilhões de dólares por ano. As rápidas alterações climáticas previstas para este século, as consequentes perturbações e outros fatores de pressão, como o desmatamento, impactarão de maneira severa os ecossistemas e seus serviços.

### Metodologia

Analísaram-se os impactos futuros da mudança

do clima na Amazônia Legal em termos de distribuição espacial, espécies animais, produtividade primária líquida e valor dos serviços gerados pelo ecossistema. Os cenários climáticos utilizados são A2 e B1 do IPCC [o cenário B1 teve que ser adotado por não existirem estudos utilizando o cenário B2]. As abordagens são simplificadas, pois as projeções climáticas disponíveis não possuem a resolução adequada para estimativas do gênero.

**Distribuição dos biomas.** Salazar, Nobre e Oyama (2007) utilizaram o modelo de vegetação potencial CPTEC/INPE e 15 modelos climáticos globais (MCG), considerando que cada célula seria ocupada pelo bioma indicado por pelo menos 75% dos 15 modelos. Neste





[?] Função ecológica que relaciona a redução da área de um bioma com o número de espécies perdidas

estudo adotou-se critério alternativo: a vegetação esperada será igual à do ano 2005 multiplicada pela fração de modelos que indica cada cobertura vegetal. Ou seja, utilizou-se uma abordagem contínua, na qual cada bioma ocupa uma fração da célula igual à fração de modelos que indicam aquele bioma.

**Perdas de espécies.** Foi utilizada a função espécie-área,<sup>7</sup> conforme a prática na literatura. Para analisar interrelações com o desmatamento, o estudo considerou os efeitos das mudanças do clima e do desmatamento, cada um isoladamente e em conjunto, para o período 2070-2100 no cenário A2. Para o desmatamento, foram utilizados os níveis históricos (2 milhões de hectares/ano) e as projeções de Business-as-usual de Soares-Filho et al. (2006).

**Produtividade Primária Líquida (PPL).** A PPL é a taxa de armazenamento da energia solar nos tecidos vegetais. Indica a capacidade de um ecossistema de manter a vida e tem uma relação forte com os serviços providos pelos ecossistemas à sociedade. Para estimar os impactos sobre a PPL, multiplicaram-se os valores das mudanças de bioma pela produtividade primária líquida da Amazônia, estimada em 1.200 g C/m<sup>2</sup>/ano.

**Valor dos serviços dos ecossistemas.** Neste estudo, foram utilizados os valores encontrados por Costanza et al. (1997), entre os quais o bioma Floresta assume um valor presente médio de US\$ 742 por hectare por ano. Ajustando este valor em função da escassez relativa utilizando a curva

espécie-área, foram obtidos valores médios atuais de US\$ 591/ha/ano para a floresta amazônica.

## Resultados

**Projeções dos biomas.** Estima-se que a mudança do clima resultará em redução de 40% da cobertura florestal na região sul-sudeste-leste da Amazônia, que será substituída pelo bioma savana em 2100, no cenário A2-BR.

**Perda de espécies.** Uma perda 12% das espécies de vertebrados da região mais biodiversa do planeta já seria um valor expressivo, mas, quando associado ao desmatamento projetado, o impacto da mudança do clima na biodiversidade leva a um quadro catastrófico de extinção de cerca de um terço das espécies.

**Produtividade primária líquida.** A região mais afetada é o sul-sudeste-leste da Amazônia. Os estados do Pará e de Mato Grosso são os mais afetados negativamente.

**Valor dos serviços do ecossistema.** A projeção final é que o impacto da mudança do clima fique entre US\$ 14 bilhões (cenário B1) e US\$ 26 bilhões (cenário A2-BR) por ano no fim deste século. É importante observar que tais impactos são medidos onde os serviços são gerados, não necessariamente consumidos. Grande parte do valor da Amazônia está relacionada a serviços de caráter regional e global, como seu papel na regulação do ciclo hídrico regional (com influência no cinturão agrícola do Centro-Sul do país) e no armazenamento de carbono.

### Conclusões e recomendações

Os resultados desta seção devem ser tomados com cautela e apenas como indicativos. Estão de acordo com as tendências encontradas pela maioria dos estudos na literatura e ilustram qualitativamente um quadro inequívoco de significativo impacto da mudança do clima sobre a biodiversidade, os ecossistemas e os serviços por eles providos.

Os impactos mais graves são esperados nas regiões rurais do Centro-oeste e do leste da Amazônia, onde o nível de pobreza e dependência dos serviços ambientais é mais elevado. É fundamental que medidas de adaptação sejam tomadas com antecedência para evitar o agravamento das já deficientes condições sociais.

As projeções deste estudo, conservadoras por força de diversas simplificações, como o fato de as projeções climáticas disponíveis não possuírem a resolução adequada para estimativas mais refinadas, apontam que 12% das espécies da Amazônia poderão ser extintas até o fim deste século por conta somente dos efeitos climáticos. Caso o desmatamento continue em níveis históricos, ele será responsável pela extinção de 21% a 29% das espécies da Amazônia. Quando os impactos da mudança do clima e do desmatamento são analisados em conjunto, chega-se à extinção de 30% a 38% das espécies da região mais biodiversa do planeta. Para evitar esse quadro catastrófico, o desmatamento na região Amazônica deve ser drasticamente reduzido e, se possível, completamente interrompido.

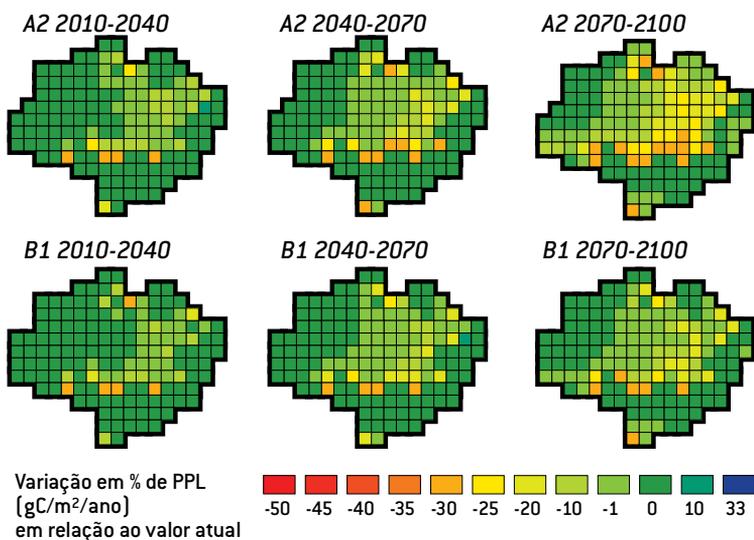


### O VALOR DO BIOMA AMAZÔNIA: a mudança do clima gera perdas econômicas devido à redução de serviços prestados pelo meio ambiente

IMPACTOS ECONÔMICOS NA PERDA DA BIODIVERSIDADE: PERDA DE ESPÉCIES CAUSA PREJUÍZO DE ATÉ US\$ 26,6 BILHÕES/ANO EM 2100

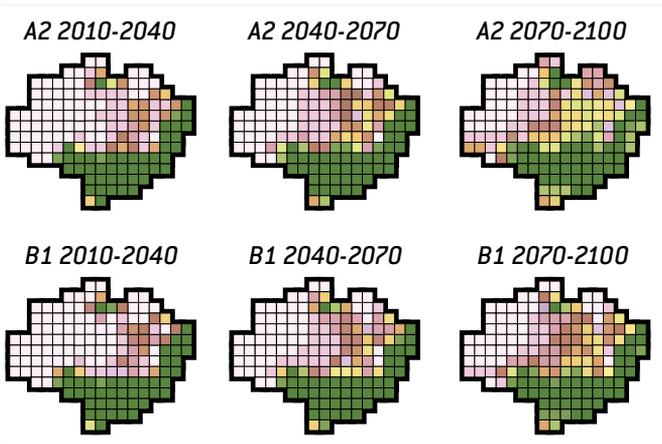
BIOMA	Valor Atual Milhões US\$/ano	Impacto no valor (em Milhões US\$/ano)					
		A2			B1		
		2040	2070	2100	2040	2070	2100
<b>Floresta Amazônica</b>	193,853	-6,140	-13,532	-27,394	-5,473	-10,276	-14,750
<b>Savana</b>	5,824	461	676	833	477	604	678
<b>TOTAL</b>	199,677	-5,679	-12,856	-26,561	-4,996	-9,672	-14,072

DECLÍNIO DA EXUBERÂNCIA NATURAL: PERDA DA PRODUTIVIDADE PRIMÁRIA LÍQUIDA NA AMAZÔNIA LEGAL

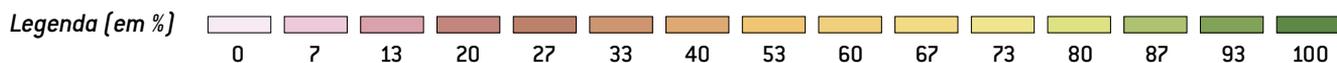
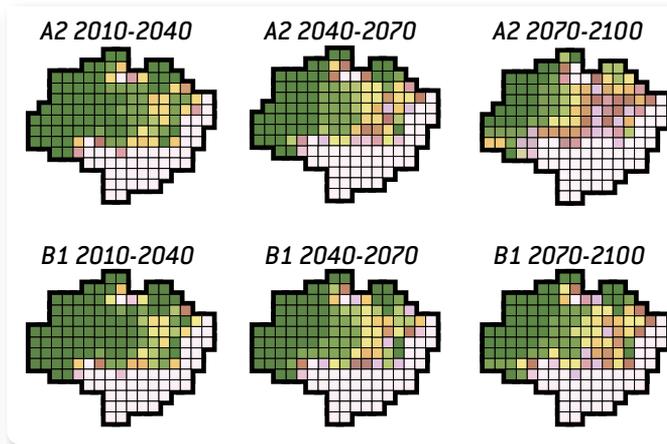


### SUL E LESTE DA AMAZÔNIA PERDEM 40% DE FLORESTAS

#### Bioma savana



#### Bioma floresta



## 3.6. Zona costeira

Esta seção se baseia no relatório “Vulnerabilidades da zona costeira brasileira às mudanças climáticas”, preparado por um grupo da Área de Engenharia Costeira e Oceanográfica da COPPE/UFRJ integrado por Paulo C.C. Rosman (coordenador), Antonio Klein, Claudio Neves, Dieter Muehe, João Carvalho e Moacyr Araújo.

O estudo apresenta um panorama da zona costeira brasileira sob os aspectos de usos do solo, ambientais, geomorfológicos, populacionais e socioeconômicos, considerando sua vulnerabilidade ao aumento do nível do mar decorrente da mudança do clima. A análise é aprofundada nos casos de Santa Catarina, Estado e Município do Rio de Janeiro e região metropolitana do Recife. Estima-se o custo do patrimônio material em risco e de um conjunto de ações de ciência, tecnologia, educação e meio ambiente indispensáveis ao embasamento de decisões políticas para garantir o desenvolvimento sustentável.

A valoração dos impactos e das respostas à mudança do clima na zona costeira do Brasil é bastante incerta, pois se conhecem pouco alguns dos eventos mais importantes (como geração de ondas e maré meteorológica), o relevo da região e a morfologia da plataforma continental interna.

### Metodologia

Define-se a zona costeira brasileira como a faixa

territorial abrangendo uma largura de aproximadamente 50 km em terra e 12 milhas náuticas no mar (plataforma continental interna), com uma extensão aproximada de 12.500 km.

Estes são os principais impactos esperados na zona costeira: erosão e progradação; danos a obras de proteção; prejuízos estruturais ou operacionais a portos e terminais; danos a obras de urbanização de cidades litorâneas; danos estruturais ou prejuízos operacionais a obras de saneamento; exposição de dutos enterrados ou danos estruturais a dutos expostos; intrusão salina em estuários; intrusão salina em aquíferos; evolução dos manguezais; danos a recifes de coral.

Neste estudo, foi realizada a análise das zonas potencialmente inundáveis e possíveis danos em função do aumento do nível do mar nos cenários climáticos A2 (0,23m a 0,51m) e B1 (0,18 m a 0,38 m) do IPCC, para os próximos cem anos. Foram incluídos também cenários associados à ocorrência de eventos extremos (ciclones extratropicais) sobre a costa, que provocariam elevação temporária do nível relativo do



mar significativamente maior que nos cenários do IPCC e que estariam associados a chuvas intensas e ação das ondas.

Como forma de indicar zonas potenciais de inundação costeira, calcularam-se os níveis máximos verticais do mar na costa durante uma tempestade, comparados então com as cotas altimétricas do terreno. Apenas em regiões metropolitanas, como no caso do Rio de Janeiro e do Recife, foi possível dimensionar a extensão das áreas sujeitas a inundação. As linhas de costa futuras foram projetadas em cartas temáticas a fim de espacializar e integrar as zonas de perigos.

Para estimar custos decorrentes do aumento do nível do mar, adaptou-se a metodologia de Nicholls et al. (2008) sobre a vulnerabilidade de 136 cidades portuárias, incluindo dez cidades brasileiras, em que o valor dos bens ou benfeitorias em risco corresponde aos investimentos em benfeitorias urbanas, da ordem de 25% do PIB, taxa de crescimento de 3% ao ano e vida útil de 40 anos. Estima-se que os valores se situem na faixa de 4 a 5 vezes o valor do PIB per capita multiplicado pela população que vive nas áreas de risco.

Deixou-se de considerar os ambientes naturais, tendo em vista as dificuldades para caracterizar a vulnerabilidade desses ambientes e suas ligações com as cadeias socioeconômicas. Considera-se, portanto, que os valores obtidos estão subestimados.

Alternativamente, desenvolveu-se o conceito

**RISCO NO LITORAL:** principais cidades com patrimônio ameaçado pela mudança do clima. Total fica entre R\$ 136,5 bilhões e R\$ 207,5 bilhões

Estado	Microrregião	Valor estimado Metodologia de Percentual da População* (R\$ milhões)	Valor estimado Metodologia de Linha de Costa* (R\$ milhões)
1	RJ <b>Rio de Janeiro</b>	R\$ 55.646,73	R\$ 84.313,23
2	BA <b>Salvador</b>	R\$ 13.995,11	R\$ 21.204,71
3	RS <b>Porto Alegre</b>	R\$ 11.148,55	R\$ 16.891,74
4	ES <b>Vitória</b>	R\$ 9.716,13	R\$ 14.721,42
5	SP <b>Santos</b>	R\$ 9.522,65	R\$ 14.428,25
6	PE <b>Recife</b>	R\$ 8.673,03	R\$ 13.140,96
7	CE <b>Fortaleza</b>	R\$ 8.008,74	R\$ 12.134,45
8	<b>Outras microrregiões</b>	R\$ 19.789,06	R\$ 30.655,24

\* ver metodologia.

de Extensão Equivalente de Linha de Costa. O valor estimado de cada tipo de patrimônio (urbanização, redes de serviços públicos etc.) é convertido em uma extensão de linha de costa cuja proteção teria o mesmo valor. Conhecendo a população por unidade de comprimento de linha de costa (PLC) e o valor do PIB per capita, pode-se estabelecer um valor do PIB/km de linha de costa (PIB-LC). Cidades com alto valor de PIB-LC seriam aquelas com maior valor de patrimônio potencialmente impactado pela elevação do nível do mar.

## Resultados

A estimativa dos valores materiais em risco na zona costeira, considerando o cenário mais elevado de nível do mar e de eventos meteorológicos extremos, é de R\$ 136 bilhões. Pela metodologia alternativa, chegou-se à mesma ordenação das cidades mais vulneráveis, mas com valores maiores, totalizando R\$ 207,5 bilhões.

## Conclusões e recomendações

Recomenda-se que sejam conduzidos estudos localizados nas regiões metropolitanas costeiras, considerando aspectos econômicos, sociais, ambientais e de infraestrutura (urbana, sanitária, de transportes etc.), com suas matrizes de interrelações. Para tais estudos, é necessário definir cenários específicos de condições climáticas da zona costeira.

Recomenda-se ainda que estudo semelhante de avaliação de vulnerabilidades seja conduzido para ambientes afastados de grandes concentrações urbanas, ou seja, naquelas áreas de menores valores de PLC, que podem servir como indicadores de evolução dos ambientes naturais.



SECHNO CHRISTOPHE SHUTTERSTOCK



## 3.7. Região Nordeste

Esta seção se baseia em sua maior parte em relatório de pesquisa de CEDEPLAR (Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional da Universidade Federal de Minas Gerais - CEDEPLAR/UFMG) e LABES (Laboratório de Educação em Saúde da Fundação Oswaldo - LABES/FIOCRUZ): “Mudanças climáticas, migrações e saúde: cenários para o Nordeste brasileiro 2000-2050”. O relatório foi elaborado por uma equipe composta por Alisson Barbieri e Ulisses E.C. Confalonieri (coordenadores), Anna Carolina Lustosa Lima, Cássio Maldonado Turra, Claudia K. Berenstein, Diana Pinheiro Marinho, Celina M. Modena e Samuel Barcelos (LABES/FIOCRUZ) e Bernardo Lanza, Diana Sawyer, Edson Domingues, Irineu Rigotti, José Alberto Carvalho, Marco Flávio Resende e Ricardo Ruiz (CEDEPLAR/UFMG). Excluindo as partes de saúde e migração, as restantes foram preparadas pelas demais equipes setoriais do estudo.

**Os resultados obtidos** nos vários estudos setoriais deste relatório deixaram claro que o Nordeste sofrerá grande impacto ao longo do século com a mudança do clima. A fim de melhor caracterizar essa vulnerabilidade regional agravada, optou-se por dar a esta seção uma estrutura moderadamente diversa das anteriores.

### Recursos hídricos

Com a segunda maior população do país, o Nordeste já sofre escassez de água acentuada, que reduz a produtividade agrícola e tolhe seu desenvolvimento. Com a mudança do clima, a disponibilidade hídrica futura deverá ser mais reduzida ainda.

Observa-se em ambos os cenários uma drástica

redução na oferta de água, com prováveis impactos na oferta de alimentos e na saúde da população. Aumentaria a probabilidade de casos de desnutrição infantil no Maranhão e de mortalidade infantil por diarreia no Maranhão, em Alagoas e em Sergipe.

Da mesma forma, a redução da oferta de água, principalmente no rio São Francisco, criará a necessidade de investimentos no setor hidrelétrico, seja na geração por outras fontes, seja no sistema de transmissão para importação de energia de outras regiões.

### Agricultura

Como consequência do aumento da temperatura e da redução da oferta de recursos hídricos, no que

se refere à aptidão agrícola o Nordeste sofrerá forte impacto em culturas de milho, arroz, feijão, algodão e girassol. No Ceará, o encolhimento de áreas favoráveis ao cultivo pode alcançar 79,6%, seguido do Piauí (70,1%), da Paraíba (66,6%) e de Pernambuco (64,9%).

Dois regiões poderão ser mais atingidas: o Agreste nordestino, hoje responsável pela maior parte da produção regional de milho, e a região dos cerrados nordestinos, como sul do Maranhão, sul do Piauí e oeste da Bahia.

No caso da cultura da mandioca, haverá forte aumento nas áreas de risco na região do Semi-Árido e no Agreste nordestino. São culturas de subsistência, portanto com risco de deterioração das condições socioeconômicas das populações rurais mais pobres. Para a soja, as simulações mostram que os cerrados nordestinos serão fortemente atingidos, com perda de produção potencial de até 40% no pior cenário.

No caso da pecuária, os modelos indicam que um aumento de temperatura de 3°C pode causar a perda de até 25% da capacidade de pastoreio para bovino de corte, o que equivale a um aumento de custo de produção de 20% a 45% no país. Este aumento de custo pode ter grande impacto sobre as populações, dadas as condições socioeconômicas vigentes no Nordeste.

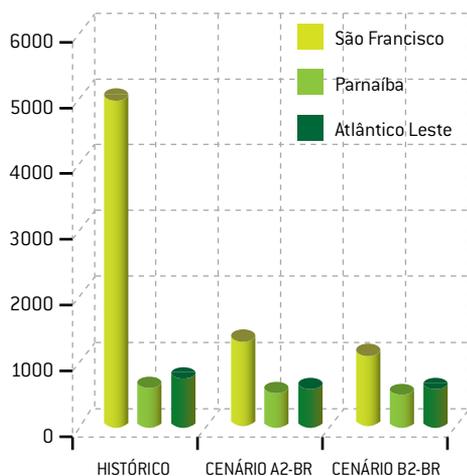
### Migração e saúde

O efeito das mudanças do clima sobre as migrações após 2030, no cenário A2-BR comparativamente ao mesmo cenário sem mudança do clima, gera um processo de perda de população em quase todo o Semi-Árido nordestino e no Nordeste setentrional. Entre 2030 e 2050, haveria aumento significativo (de até 24%)

### CAI OFERTA DE ENERGIA FIRME NO NORDESTE:

Bacias do São Francisco, Parnaíba e Atlântico Leste terão redução drástica até 2035

EVOLUÇÃO NA OFERTA DE ENERGIA FIRME – MW MÉDIO



na taxa de migração das áreas mais carentes para os grandes centros urbanos do Nordeste.

O Piauí é o estado que sofre um dos maiores impactos das variações climáticas, por conta de seu PIB agrícola pesar relativamente mais em sua economia, o que poderá induzir movimentos migratórios. Nesse processo de redistribuição populacional, alguns municípios nordestinos poderão atrair migrantes, embora em níveis modestos, para o Nordeste meridional.

No que se refere à saúde, um índice de Vulnerabilidade Geral (IVG) desenvolvido para cada um dos estados integra componentes de saúde (seis doenças infecciosas endêmicas, desnutrição infantil e mortalidade infantil por diarreias), de suscetibilidade à desertificação, econômico-demográficos (PIB, emprego e migração) e de custos de saúde (gasto hospitalar e ambulatorial no setor público). No cenário A2-BR para 2050, observa-se que Bahia, Ceará e Pernambuco são os estados de maior vulnerabilidade do Nordeste. A Paraíba aparece com a menor vulnerabilidade, seguida de Sergipe e Rio Grande do Norte.

As simulações indicam que poderia ocorrer aumento da suscetibilidade para casos de esquistossomose (Bahia), leishmaniose visceral e tegumentar (Maranhão e Ceará), leptospirose (Ceará e Pernambuco) e Chagas (Sergipe).

### Energia

Os resultados de balanço hídrico para as bacias do Nordeste são extremamente negativos. Nas bacias do Parnaíba e do Atlântico Leste, o excedente hídrico chega a cair mais de 90% em alguns momentos da projeção, com forte queda na produção de energia de fonte hidráulica.

Como o planejamento do sistema é feito com base na energia firme, a figura abaixo apresenta a variação prevista em cada cenário até 2035, o que permite visualizar a grande demanda por investimentos que deverá ocorrer no sistema energético para atender ao Nordeste.

### Zona costeira

Dado o grande número de cidades na linha de costa do Nordeste, a elevação do nível do mar poderá criar áreas de risco ou mesmo impróprias à manutenção de patrimônio e infraestrutura urbana em grandes faixas de extensão territorial, atualmente bastante populosas.

O valor do patrimônio dessa linha de costa está estimado em R\$ 21,2 bilhões em Salvador, R\$ 13,1 bilhões em Recife e R\$ 12,1 bilhões em Fortaleza. Considerando que há ainda a necessidade de estimar o patrimônio em risco nas demais cidades costeiras da região e os custos de remoção e realocação de população, pode-se dizer que os valores mencionados são bastante conservadores. #





## CAPÍTULO 4

# Adaptação à mudança do clima

# Adaptação à mudança do clima

A **literatura dedicada** às análises técnicas e econômicas sobre adaptação à mudança do clima é bastante limitada. O próprio conceito de adaptação é complexo, do ponto de vista econômico. A definição do nível desejado de controle é difícil, assim como a separação do que sejam medidas de adaptação e ações gerais de desenvolvimento. Também não é trivial incorporar a incerteza na definição de adaptação, ou seja, é necessário adaptar-se sem saber com certeza a que se adaptar.

Também no Brasil faltam estudos sobre adaptação. Neste trabalho, analisaram-se algumas alternativas em setores para os quais há maior quantidade de dados – agricultura e energia – e na medida do possível compararam-se os custos das medidas de adaptação com os benefícios gerados (redução de danos). Para a zona costeira não se identificaram custos de adaptação, mas de gestão costeira, base mínima necessária para guiar ações de adaptação.

## 4.1. Setor agrícola<sup>8</sup>

Com base nos cenários de alterações das áreas ou dos municípios com baixo risco climático para as principais culturas agrícolas, avaliou-se o custo de um programa direcionado para duas vertentes principais: adaptação dos cultivares por meio de melhoramento genética e adaptação do sistema de manejo por meio da irrigação. Foram estudados os custos de adaptação para soja, café, milho, arroz, feijão e algodão.

### Metodologia

**Melhoramento genético.** A estratégia é desenvolver cultivares adaptados a temperaturas elevadas e deficiência hídrica. Algumas soluções biotecnológicas podem ser utilizadas, principalmente melhoramento genético das plantas, em busca de cultivares tolerantes. Para estimar custos, considerou-se 8 a 12 anos como tempo médio para o melhoramento e lançamento de cultivares. O investimento total médio para o desenvolvimento de cada cultivar foi projetado em torno de R\$ 10 milhões, ou um custo médio de R\$1 milhão por cultivar ao ano.

**Irrigação.** Foram estudadas três culturas comumente irrigadas: milho, arroz e feijão. O esquema e o tempo (em torno de dez anos) para obter um cultivar com as características definidas são aproximadamente os mesmos. Utilizando as informações oficiais do IBGE

consolidadas para 2006 e o custo de irrigação por área de cultivar fornecido pela CONAB e pelo CEDAGRO, estimou-se o custo total para a irrigação das áreas perdidas com o aquecimento global de acordo com a evolução dos cenários até 2020, 2050 e 2070.

### Resultados

**Melhoramento genético.** Observa-se uma necessidade de aportes significativos de recursos principalmente no cenário A2-BR de 2020, para todas as culturas. Esse primeiro investimento praticamente já supriria também as necessidades para 2050, com exceção do arroz e do feijão, que demandariam um novo investimento, da ordem de 90% do investido em 2020 no mesmo cenário, e de 70% a 80%, no cenário B2-BR.

Na comparação entre 2050 e 2070 no cenário A2-BR, apenas arroz, feijão e algodão necessitariam do desenvolvimento de um número maior de cultivares, representando 5%, 8% e 15% em relação ao investido no primeiro período. No cenário B2-BR, essa necessidade só existiria para o algodão, em um total de 8%.

**Irrigação.** A irrigação se mostra vantajosa no caso do milho, que mantém valores menores ou próximos aos da adaptação genética, em torno de 20%. No caso do arroz, embora seja vantajoso investir na irrigação, há desvantagem em relação à adaptação genética dos cultivares hoje existentes. O investimento é desvantajoso no caso do feijão, com custo maior que a perda evitada, restando a adaptação genética como única alternativa.

### Conclusões e recomendações

A principal recomendação, no que respeita ao melhoramento genético, é iniciar o quanto antes as pesquisas e a liberação de recursos financeiros adequados. No que toca à irrigação, estudos mais aprofundados devem ser desenvolvidos, uma vez que os conflitos de uso (consumo humano, consumo industrial e irrigação) deverão se agravar.

## 4.2. Setor energético<sup>9</sup>

Com base nas projeções de impactos da mudança do clima sobre geração hidrelétrica, produção de biocombustíveis e demanda de energia para condicionamento de ar, e considerando um horizonte de planejamento até 2035, simulou-se o sistema energético brasileiro com e sem os impactos da mudança do clima. Empregou-se uma modelagem de otimização da oferta de

[8] Esta seção se baseia no estudo "Adaptação à mudança do clima no setor agrícola", elaborado por Hilton Silveira Pinto (Cepagri/Unicamp), Eduardo Assad (Embrapa Agropecuária), e Giampaolo Q. Pellegrino.

[9] Esta seção se baseia no estudo "Adaptação à mudança do clima no setor de energia", elaborado pelo Grupo de Energia do Programa de Planejamento Energético da COPPE/UFRJ. O estudo foi coordenado por Roberto Schaeffer, Alexandre Salem Szklo e André Frossard Pereira de Lucena, tendo como co-autores Raquel Rodrigues de Souza, Bruno Soares Moreira Cesar Borba, Isabella Vaz Leal da Costa, Amaro Olimpio Pereira Júnior e Sergio Henrique F. da Cunha.

energia, de forma a buscar soluções de menor custo para enfrentar as possíveis perdas de energia.

### Metodologia

Foi desenvolvida uma metodologia iterativa<sup>10</sup> entre o modelo de equilíbrio geral computável (EGC) e a modelagem energética integrada MAED-MESSAGE. Enquanto o primeiro analisa a economia como um todo, considerando as interações entre os setores, o segundo fornece um arcabouço detalhado para a análise de mudanças estruturais dentro do setor energético (relações de consumo e produção de energia em toda a economia; trata-se, portanto, de uma análise de equilíbrio parcial).

Essa iteração deu-se, inicialmente, com a simulação energética MAED-MESSAGE usando o cenário tendencial do EGC para crescimento macrossetorial dos cenários A2-BR e B2-BR, sem incorporar mudança do clima ou alterações nos coeficientes técnicos relacionados ao uso

de energia. Depois, o modelo EGC foi rodado novamente, incluindo as variações nas intensidades energéticas por setor e por combustível, gerando um novo cenário de crescimento macrossetorial para os dois cenários, incorporando efeitos das mudanças do clima global sobre o setor energético. Finalmente, estes impactos sobre o sistema energético brasileiro foram incluídos na modelagem MAED-MESSAGE.

### Resultados

O principal impacto identificado sobre o setor energético foi a queda no fator de capacidade firme da geração hidrelétrica. Para fazer frente à mudança do clima seria preciso instalar uma capacidade extra para gerar entre 162 TWh e 153 TWh por ano, nos cenários A2-BR e B2-BR, respectivamente.

A análise de adaptação indica que essa capacidade adicional seria obtida, principalmente, com gás natural, >>

[10] Na qual os resultados de um modelo alimentam o outro, e vice-versa.

**QUANTO CUSTA ADAPTAR :** Relação custo/benefício de investimentos em biotecnologia ou irrigação para enfrentar impactos da mudança do clima na agricultura

CUSTOS E BENEFÍCIOS									
Cenário A2-BR									
Melhoramento genético	2020			2050			2070		
	Custo/ano (R\$ milhões)	Perdas anuais evitadas (R\$ milhões)	Custo/benefício	Custo/ano (R\$ milhões)	Perdas anuais evitadas (R\$ milhões)	Custo/benefício	Custo/ano (R\$ milhões)	Perdas anuais evitadas (R\$ milhões)	Custo/benefício
Arroz	34	418	8%	65	530	12%	68	611	11%
Algodão	38	313	12%	38	408	9%	44	456	10%
Café	104	883	12%	104	1.597	7%	104	3.073	3%
Feijão	27	115	17%	51	363	14%	55	473	12%
Soja	369	4.357	8%	378	6.308	6%	378	7.645	5%
Milho	328	1.193	28%	354	1.511	23%	354	1.720	21%
Irrigação	Custo/ano (R\$ milhões)	Perdas anuais evitadas (R\$ milhões)	Custo/benefício	Custo/ano (R\$ milhões)	Perdas anuais evitadas (R\$ milhões)	Custo/benefício	Custo/ano (R\$ milhões)	Perdas anuais evitadas (R\$ milhões)	Custo/benefício
Arroz	56	418	11%	197	530	37%	264	611	43%
Feijão	102	155	60%	494	363	136%	661	473	140%
Milho	72	1.193	2%	309	1.511	20%	409	1.720	24%
Cenário B2-BR									
Melhoramento genético	2020			2050			2070		
	Custo/ano (R\$ milhões)	Perdas anuais evitadas (R\$ milhões)	Custo/benefício	Custo/ano (R\$ milhões)	Perdas anuais evitadas (R\$ milhões)	Custo/benefício	Custo/ano (R\$ milhões)	Perdas anuais evitadas (R\$ milhões)	Custo/benefício
Arroz	34	369	9%	58	539	11%	58	616	9%
Algodão	38	313	12%	40	401	10%	43	445	10%
Café	104	628	17%	104	1.706	6%	104	2.571	4%
Feijão	28	115	18%	51	356	14%	51	454	11%
Soja	369	3.993	9%	378	5.478	7%	378	6.439	6%
Milho	327	1.212	27%	337	1.506	22%	337	1.690	20%
Irrigação	Custo/ano (R\$ milhões)	Perdas anuais evitadas (R\$ milhões)	Custo/benefício	Custo/ano (R\$ milhões)	Perdas anuais evitadas (R\$ milhões)	Custo/benefício	Custo/ano (R\$ milhões)	Perdas anuais evitadas (R\$ milhões)	Custo/benefício
Arroz	41	369	11%	173	539	32%	255	616	41%
Feijão	92	155	60%	418	356	117%	544	454	120%
Milho	28	1.212	2%	170	1.506	11%	322	1.690	19%



**[11]** Nos quais se usam turbinas a vapor de extração e condensação (CEST, na abreviação em inglês).

tecnologias avançadas de queima de bagaço de cana e energia eólica. Agregadas, essas opções implicariam custos de capital da ordem de US\$ 51 bilhões e US\$ 48 bilhões, nos dois cenários, respectivamente.

Os custos operacionais dependerão de quanto o cenário hidrológico se aproximará do cenário crítico. Caso este se realize, o custo operacional e de combustível anual será de US\$ 6,9 bilhões e US\$ 7,2 bilhões, respectivamente. Como o cenário crítico não ocorre o tempo todo, esses valores podem ser vistos como o limite superior para o custo variável de adaptação à perda de confiabilidade do sistema hidrelétrico.

### Conclusões e recomendações

A principal implicação desse resultado é a necessidade de deslocamento de gás natural da indústria para atender à demanda por parte do setor elétrico (a do setor industrial passaria a ser suprida por óleo combustível).

A capacidade de geração adicional instalada para garantir a confiabilidade do sistema deverá ficar ociosa parte do tempo. Tal resultado não é um problema em si para tecnologias flexíveis como turbinas a gás, desde que haja formas de comercializar o gás natural em um mercado secundário. No caso do bagaço, na medida em que ciclos do tipo CEST<sup>11</sup> permitem certa modulação de geração, ele pode ser utilizado em outras destinações

que não para a geração elétrica (possivelmente produção de etanol celulósico).

Já no caso da geração nuclear, a inércia operacional é grande (não se pode operar uma usina nuclear modulando sua carga). Quando o modelo de otimização indica a alternativa nuclear durante o período crítico, mas em condições médias de hidrologia (nas quais hidrelétricas continuam a gerar energia), uma usina cara e de baixa flexibilidade operacional ficaria em operação mesmo havendo água nos reservatórios, que terá então de ser desperdiçada (vertida).

Ressalte-se que uma parte de adaptação pode ser feita de forma custo-efetiva com cogeração avançada a bagaço, conforme opção escolhida pelo modelo de otimização. Contudo, outra parte substancial da adaptação escolhida pelo modelo se deu a partir de usinas a gás natural, que em boa parte do tempo não seriam "ligadas". Porém, quando o fossem, as emissões de gases do efeito estufa do setor elétrico aumentariam, assim como as do setor industrial que passaria a trocar gás natural por óleo combustível.

Tecnicamente seria possível adaptar sem aumentar de modo substancial as emissões, com ciclos mais avançados de geração com bagaço (ciclos de gaseificação), mas eles ainda não são competitivos e não foram escolhidos na otimização. Em resumo, existe um aparente *trade-off* entre opções de adaptação de

menor custo e menores emissões. Recomenda-se que um trabalho futuro investigue opções de adaptação para minimizar emissões adicionais e não os custos.

### 4. 3. Zona costeira<sup>12</sup>

**Diante do escopo** limitado do estudo e da ausência de trabalhos mais detalhados em escala nacional, não foi possível avaliar os custos de eventuais obras de adaptação na zona costeira. No entanto, os custos de ações de gestão e de política pública nos três níveis de governo são estimados e comparados com o valor do patrimônio costeiro.

#### Metodologia

As possíveis respostas aos principais tipos de impacto podem ser classificadas entre as que antecipam

os danos e as que envolvem abandonar a estrutura e se acomodar a uma nova situação. Utiliza-se a nomenclatura do IPCC (1994), que classifica as respostas como “recuo”, “acomodação” e “proteção”.

As medidas de adaptação na zona costeira aqui propostas se assemelham às identificadas pela U.S. Federal Emergency Management Agency (2007), que inclui dez ações prioritárias a serem tomadas para enfrentar os crescentes desafios de proteção da população em áreas de risco na zona costeira. No Brasil, algumas dessas ações já foram formalmente iniciadas por órgãos vinculados aos Ministérios de Meio Ambiente, da Ciência e Tecnologia e da Defesa, ou por órgãos estaduais responsáveis pelo Programa Nacional de Gerenciamento Costeiro.

[12] Esta seção se baseia no relatório “Vulnerabilidades da zona costeira brasileira às mudanças climáticas” preparado por um grupo da Área de Engenharia Costeira e Oceanográfica da COPPE/UFRJ integrado por Paulo C.C. Rosman (coordenador), Antonio Klein, Claudio Neves, Dieter Muehe, João Carvalho e Moacyr Araújo.

#### Resultados

O custo total para implantação das 14 ações



### PROTEÇÃO DO LITORAL: custos e impactos de medidas de adaptação às mudanças climática na zona costeira



#### LEGENDA

■ RECUO   
 ■ ACOMODAÇÃO   
 ■ PROTEÇÃO

Tipos de resposta	Custo	Impacto
<b>1</b> Abandono das casas e das benfeitorias	\$\$\$\$\$	Deterioração urbana
<b>2</b> Destruição de biomas	\$\$\$\$\$	Perda de biodiversidade
<b>3</b> Reconstrução periódica das benfeitorias	\$\$\$\$\$	Deterioração urbana
<b>4</b> Aproveitamento de áreas inundadas para aquicultura	\$\$\$\$\$	Geração de empregos
<b>5</b> Engordamento de praias	\$\$\$\$\$	Manutenção dos usos
<b>6</b> Fixação da costa com enrocamento ou blocos artificiais	\$\$\$\$\$	Impacto visual; difícil acesso para banhistas; acúmulo de lixo e proliferação de insetos e ratos
<b>7</b> Construção de muros de proteção	\$\$\$\$\$	Impacto visual controlável; facilidade de acesso para banhistas
<b>8</b> Construção de quebra-mares ou estruturas no mar	\$\$\$\$\$	Impacto paisagístico controlável; qualidade e circulação da água
<b>9</b> Recuperação de estruturas portuárias	\$\$\$\$\$	Manutenção da atividade



recomendadas até 2050 (ver tabela) é da ordem de R\$ 3,72 bilhões, cerca de R\$ 93 milhões por ano, que devem ser comparados com os custos patrimoniais apresentados no item 3.6 (entre R\$ 136,5 bilhões e R\$ 207,5 bilhões). Assim, os custos das ações de adaptação representam menos de 3% do valor do patrimônio ameaçado, ou 3,5% da arrecadação de 2008 do Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

### Conclusões e recomendações

A diversidade de problemas e de condições ambientais e socioeconômicas impossibilita que se busque uma resposta única para os problemas associados à mudança do clima ao longo de toda a costa brasileira. É inevitável que tal avaliação seja conduzida no nível local. A contribuição deste relatório é identificar, grosso modo, as prioridades a serem adotadas.

O desafio mais importante diz respeito à base cartográfica unificada para a zona costeira, englobando áreas emersas e submersas, a marégrafos para acompanhar as flutuações de nível do mar e a

observações oceanográficas, meteorológicas e geológicas.

Em segundo lugar, outras obras de infraestrutura, além das costeiras, são necessárias para enfrentar os desafios de mudança do clima – por exemplo, estabilidade de encostas, redes de drenagem, de saneamento e abastecimento de água etc. As empresas de saneamento relutam em antecipar ações referentes ao problema, provavelmente em razão da grande incerteza relativa à sobrecarga das redes de drenagem e de coleta de esgotos e aos custos de redimensionar parte das redes.

As recomendações feitas neste estudo devem ser lidas tendo em vista suas reconhecidas limitações, como a carência de dados e informações básicos. Recomendam-se as ações do tipo *no regrets* (à prova de arrependimento), ou seja, que tragam benefícios independentemente da mudança do clima, o que se aplica principalmente a ações de cunho estratégico. Isso demanda decisão política e um planejamento orçamentário firme para um período de 10 a 20 anos. A luta contra o desmatamento é um bom exemplo nesta direção. #

### O CUSTO DE AÇÕES DE BASE NA ZONA COSTEIRA: Brasil precisa investir R\$ 93 milhões por ano para conhecer melhor o litoral

AÇÃO PROPOSTA	CIÊNCIA E TECNOLOGIA	COMPUTAÇÃO	EDUCAÇÃO	LEGISLAÇÃO	EXECUTIVO	VALOR (R\$ MILHÕES/ANO)
Monitorar permanentemente o nível do mar;	■				■	15
Monitorar simultaneamente parâmetros meteorológicos e oceanográficos;	■				■	
Aprimorar métodos estatísticos de previsão e análise;		■	■			5
Aperfeiçoar métodos de previsão de ondas a partir de modelos de circulação atmosférica;		■	■			
Desenvolver métodos para caracterizar a transformação das ondas desde o oceano até a costa;	■	■				
Caracterizar a forma das praias antes/depois de ressacas;	■		■			10
Mapear a evolução das dunas frontais;	■		■			10
Avaliar comportamento das obras costeiras e portuárias, com nível de risco de 1%;		■	■			
Aprimorar métodos, numéricos e experimentais, para cálculo do comportamento de ondas junto a estruturas;		■	■			
Elaborar mapas temáticos das áreas de risco na zona costeira a cada 10 anos;			■	■	■	50
Criar base cartográfica unificada para a zona costeira, englobando áreas emersas e submersas;		■		■	■	
Criar legislação municipal de ordenamento da ZC;				■	■	custos a estimar
Capacitar técnicos das prefeituras e órgãos ambientais dos Estados;			■		■	2
Produzir material de divulgação científica e de formação de professores.			■			1





An aerial photograph of a city, likely São Paulo, Brazil, showing a dense urban landscape with various buildings, including a prominent church with a large dome. The sky is blue with scattered white clouds. A large graphic overlay is present, consisting of a light blue rounded rectangle at the top, a solid green rounded rectangle at the bottom left, and a large black rounded rectangle on the right side containing the chapter title.

CAPÍTULO 5

Análise  
macroeconômica

# Análise macroeconômica

Este capítulo se baseia no estudo “Avaliação de impactos de mudanças climáticas sobre a economia brasileira”, elaborado pela equipe da Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas (FIPE-USP) integrada por Eduardo Haddad (coordenador), Eduardo Almeida, Carlos Azzoni, Edson Domingues, Joaquim Guilhoto, Fábio Kanczuk e Fernando Perobelli.

**Qual a influência do aquecimento global** na agenda de desenvolvimento do Brasil? Para responder a esta questão de forma inovadora, desenvolveu-se para este estudo uma metodologia integrada de projeção de impactos econômicos de mudança do clima e políticas de adaptação e mitigação, considerando explicitamente as diversas escalas territoriais brasileiras (macrorregiões, estados, microrregiões e redes de cidades). Procurou-se, ainda, articular as projeções de alterações climáticas com modelos socioeconômicos.

## Metodologia

Utilizou-se um modelo de equilíbrio geral computável (EGC) que simula dois cenários sem mudança climática relativos ao futuro da economia brasileira consistentes com as trajetórias de desenvolvimento econômico mundial dos cenários A2 e B2 do IPCC – aqui denominados cenários A2-BR e B2-BR. A estes cenários foram aplicados os choques climáticos (alterações não usuais que geram impactos) projetados pelo INPE para o Brasil e captados pelo modelo por meio dos impactos nos setores agropecuário e energético. As trajetórias socioeconômicas das situações com e sem mudança climática global são analisadas em termos de benefícios e custos para o Brasil e suas regiões.

Os modelos se articulam com os estudos setoriais de agropecuária e energia por meio de variáveis como consumo e geração de energia para diferentes setores e regiões, substituição entre fontes de energia no processo produtivo e no consumo das famílias, produtividade agrícola e uso da terra etc. Estas, por sua vez, são dependentes de variáveis climáticas, disponibilidade hídrica futura e outros fatores econômicos.

Para a elaboração dos dois cenários socioeconômicos no caso do Brasil, utiliza-se um sistema integrado de modelagem para geração de cenários temporais, tendo como núcleo central um modelo de equilíbrio geral computável denominado EFES, cujo objetivo geral é a especificação e a implementação de um sistema de informações integrado para projeção macroeconômica, setorial e regional, e análise de políticas econômicas.

O EFES está integrado a um modelo macroeconômico de equilíbrio geral dinâmico (EGD), permitindo a geração de resultados desagregados para até 55 setores e 110

produtos. Este EGD prevê projeções macroeconômicas, incluindo informações sobre a evolução da inflação, taxa de câmbio, consumo das famílias, gastos do governo, investimento agregado e exportações. Incluem-se também projeções de especialistas e cenários sobre preferências, tecnologia e políticas setoriais específicas.

Alimentado com essas informações, o modelo EFES produz projeções estruturais e macroeconômicas para a economia brasileira consistentes com os cenários A2 e B2 do IPCC. Nesta etapa ocorre uma integração semi-iterativa com o modelo de demanda e oferta de energia, permitindo ajustar a matriz energética de acordo com o funcionamento do setor energético (incluindo, portanto, os custos de adaptação).

Uma vez estabelecidas as trajetórias de referência

SEFE/SHUTTERSTOCK

(dois cenários, sem mudança do clima global), o passo seguinte foi definir desvios em relação a essas trajetórias proporcionados pelas mudanças do clima. Os subsídios de outros modelos que fornecem os choques para alimentação do modelo principal foram: (i) alterações na alocação entre lavoura, pasto e floresta, por unidade da federação (UF); (ii) alterações nas produtividades de culturas agrícolas, por UF; e (iii) alterações na matriz energética brasileira.

## Resultados

As simulações sem mudança do clima apresentam um crescimento do PIB brasileiro de 4,2% ao ano de 2008 a 2035 e de 3,77% de 2035 a 2050, no caso A2-BR, e de 4,24% e 3,95% nos mesmos períodos, no caso B2-BR.

Analisando os impactos da mudança do clima na economia, as simulações revelam uma perda permanente do PIB brasileiro, em 2050, da ordem de 0,5% quando se comparam as trajetórias A2-BR com e sem mudança climática, e da ordem de 2,3% entre trajetórias B2-BR com e sem mudança do clima. Mesmo havendo maiores perdas em B2-BR do que em A2-BR, é importante ressaltar que em termos absolutos a economia brasileira terá maiores ganhos sem e com mudança climática se seguir a trajetória B2-BR e não a trajetória A2-BR.

Para calcular as perdas anuais de PIB acumuladas até 2050 em valor presente, utilizaram-se três taxas de desconto distintas: 0,5%, 1% e 3% ao ano. As perdas variam entre 13,6% e 147% do PIB de 2008. Assim, se os custos da mudança do clima no Brasil até 2050 fossem antecipados para hoje, a uma taxa de desconto intertemporal de 1,0% ao ano, por exemplo, o custo em termos de PIB ficaria entre R\$ 719 bilhões em A2-BR e R\$ 3,655 trilhões em B2-BR, o que representaria de 25% a 125% do PIB de 2008.

Os impactos econômicos da mudança do clima são sentidos de maneira diversa nos setores econômicos, nas regiões, nos estados e nas grandes cidades. Por exemplo, a agricultura é o setor econômico mais diretamente sensível ao clima, com queda permanente de produção de 3,6% em A2-BR e 5,0% em B2-BR em 2050.

Em termos regionais, a ameaça maior paira sobre as regiões mais pobres do país. Pode-se concluir que a mudança do clima intensifica as desigualdades regionais no Brasil. A maior disparidade ocorre na trajetória A2-BR quando se comparam os efeitos da mudança do clima no Sul (ganhos de 2%) com os do Centro-Oeste (perdas de 3%), relativamente ao mesmo cenário A2-BR sem mudança do clima.

Em termos dos estados, a exceção são aqueles mais >>



**DETALHES DO IMPACTO NA SOCIEDADE:** efeitos por setor, região, estado, redes de cidades e nível de pobreza (desigualdades regionais se intensificam)

CUSTOS DA MUDANÇA DO CLIMA NO BRASIL EM % DO PIB				
REGIÕES E ESTADOS <sup>1</sup>	Cenário A2-BR		Cenário B2-BR	
	2035	2050	2035	2050
<b>Norte</b>	<b>- 0,7%</b>	<b>- 1,2%</b>	<b>- 2,1%</b>	<b>- 3,1%</b>
Rondônia	- 0,9%	- 1,7%	- 2,7%	- 4,1%
Acre	- 0,2%	- 0,5%	- 1,5%	- 2,1%
Amazonas	- 0,6%	- 1,0%	- 2,3%	- 3,2%
Roraima	- 1,1%	- 1,8%	- 2,6%	- 3,6%
Pará	- 0,6%	- 1,1%	- 1,7%	- 2,5%
Amapá	- 0,1%	- 0,4%	- 2,0%	- 3,1%
Tocantins	- 1,6%	- 2,7%	- 2,8%	- 4,3%
<b>Nordeste</b>	<b>- 1,0%</b>	<b>- 1,6%</b>	<b>- 2,1%</b>	<b>- 2,9%</b>
Maranhão	- 3,8%	- 5,5%	- 5,0%	- 7,0%
Piauí	- 0,8%	- 1,3%	- 3,6%	- 5,5%
Ceará	- 1,6%	- 2,7%	- 3,5%	- 4,4%
Rio Grande do Norte	- 0,8%	- 1,4%	- 2,5%	- 3,6%
Paraíba	- 1,6%	- 2,6%	- 2,7%	- 1,1%
Pernambuco	- 0,8%	- 1,4%	- 2,6%	- 4,1%
Alagoas	- 6,2%	- 8,2%	- 6,5%	- 7,6%
Sergipe	- 0,5%	- 1,0%	1,2%	1,7%
Bahia	0,2%	- 0,1%	- 0,3%	- 0,7%
<b>Sudeste</b>	<b>- 0,3%</b>	<b>- 0,6%</b>	<b>- 1,5%</b>	<b>- 2,4%</b>
Minas Gerais	- 0,5%	- 1,0%	- 1,7%	- 2,7%
Espírito Santo	- 2,4%	- 3,6%	- 3,0%	- 4,5%
Rio de Janeiro	0,2%	0,1%	- 0,9%	- 1,4%
São Paulo	- 0,3%	- 0,5%	- 1,6%	- 2,5%
<b>Sul</b>	<b>1,3%</b>	<b>2,0%</b>	<b>0,0%</b>	<b>0,0%</b>
Paraná	1,8%	2,9%	0,5%	0,8%
Santa Catarina	0,1%	0,2%	- 1,6%	- 2,5%
Rio Grande do Sul	1,5%	2,3%	0,4%	0,6%
<b>Centro-Oeste</b>	<b>- 1,8%</b>	<b>- 3,0%</b>	<b>- 3,0%</b>	<b>- 4,5%</b>
Mato Grosso do Sul	- 2,1%	- 3,5%	- 3,3%	- 5,2%
Mato Grosso	- 6,7%	- 9,9%	- 7,7%	- 11,1%
Goiás	- 0,3%	- 0,7%	- 1,8%	- 3,1%
Distrito Federal	- 0,1%	- 0,2%	- 1,2%	- 1,8%
<b>SETORES</b>				
Agropecuária	- 1,7%	- 2,5%	- 2,9%	- 4,5%
Indústria	- 0,2%	- 0,3%	- 1,3%	- 2,0%
Serviços	- 0,1%	- 0,4%	- 1,4%	- 2,1%
<b>REDES DE CIDADES <sup>2</sup></b>				
Regiões metropolitanas	- 0,1%	- 0,3%	- 1,3%	- 2,0%
Capitais	- 0,2%	- 0,4%	- 1,4%	- 2,1%
Interior	- 0,5%	- 0,8%	- 1,8%	- 2,6%
<b>SOCIAIS</b>				
PIB/capita <sup>3</sup>	- 0,3%	- 0,5%	- 1,5%	- 2,3%
Pobreza <sup>4</sup>	0,02%	0,02%	0,06%	0,06%

[1] Em comparação com os respectivos PIBs setoriais projetados sem mudança do clima.

[2] Em % dos respectivos PIBs regionais projetados sem mudança do clima. Regiões metropolitanas: Manaus, Belém, Fortaleza, Recife, Salvador, Belo Horizonte, Rio de Janeiro, São Paulo, Curitiba, Porto Alegre; capitais, microrregiões das capitais estaduais.

[3] Em comparação com os respectivos valores projetados sem mudança do clima.

[4] Variação percentual média anual no período.

## IMPACTO NO CRESCIMENTO: perdas até 2050 ultrapassam PIB de 2008

FLUXOS MARGINAIS DE PIB ASSOCIADOS À MUDANÇA DO CLIMA					
2008-2050	Taxa de desconto	Em R\$ bilhões de 2008		Em % do PIB de 2008	
		A2-BR	B2-BR	A2-BR	B2-BR
	0,5%	-841	-4.265	-29,1%	-147,4%
	1,0%	-719	-3.665	-24,8%	-126,3%
	3,0%	-364	-2.025	-13,6%	-70,0%

fríos, que passarão a ter temperaturas mais amenas e, portanto, mais propícias à agricultura. Todos os demais terão perdas expressivas.

Com relação às cidades, os resultados mostram que as maiores perdas deverão ocorrer no interior. Ressalte-se que só foram computadas as perdas de PIB sob a ótica da produção de bens e serviços; impactos da mudança do clima na infraestrutura urbana ainda precisam ser incorporados.

Com respeito aos aspectos socioeconômicos, haveria uma perda para o cidadão médio brasileiro de R\$ 534 (ou US\$ 291), no cenário A2-BR em comparação a este cenário sem mudança do clima, ou de R\$ 1.603 (ou US\$ 874), no cenário B2-BR em comparação a este cenário sem mudança do clima. O valor presente em 2008 das reduções no consumo dos brasileiros acumuladas até 2050 ficaria entre R\$ 6.000 e R\$ 18.000, representando de 60% a 180% do consumo anual per capita atual.

Ressalte-se novamente que, apesar de as perdas serem maiores em B2-BR, em comparação com A2-BR, em média todos os brasileiros estarão consumindo mais no primeiro que no segundo, com ou sem mudança do clima, porque a renda nacional é maior em B2-BR do que A2-BR.

Finalmente, no que se refere à pobreza, os resultados para o PIB per capita seguem os resultados do PIB. Estima-se uma perda permanente da ordem de 0,5% (A2-BR) e 2,3% (B2-BR) do PIB per capita nacional, em 2050, na comparação com um mundo sem mudança do clima. É interessante notar também que elas tendem a aumentar [marginalmente] a pobreza no Brasil.

### Conclusões e Recomendações

A análise revela que os impactos da mudança do clima na economia brasileira levarão a uma perda substantiva – de 0,7 do PIB a um PIB e meio (em valores de 2008) no período 2008-2050. Indica ainda que a trajetória B2-BR, na qual a economia mundial é mais adequada ao combate da mudança do clima, eleva a renda nacional em relação à A2-BR, na qual há maior intensidade de carbono. Mesmo descontando impactos climáticos, o PIB de B2-BR em 2050 é superior ao de A2-BR em R\$ 405 bilhões, ou seja, a renda nacional cresce mais e assim se mantém mesmo ao absorver os impactos climáticos e seguir um rumo mais sustentável.

As consequências indicadas pelo modelo refletem

majoritariamente a distribuição regional da agricultura, sugerindo que o cenário A2-BR pode resultar em menor impacto nacional, uma vez que a agropecuária nos estados do Sul e Sudeste é menos afetada e até beneficiada, em relação ao cenário B2-BR.

Como a região Sul tem participação maior no total nacional, o impacto negativo do clima no cenário A2-BR é menor em termos agregados do que no cenário B2-BR. Sendo assim, embora gere uma elevação maior da renda nacional, o choque dos efeitos climáticos no cenário B2-BR internaliza uma perda maior que no cenário A2-BR. Por outro lado, tais impactos na agricultura aumentarão as disparidades regionais, sendo este aspecto um dos mais relevantes a destacar.

Os impactos climáticos no setor energético não diferem muito por região, uma vez que a distribuição de energia a partir de 2016 será realizada pelo sistema integrado, reduzindo o impacto regional.

De qualquer forma, por refletirem somente os impactos no setor agrícola e energético e restringirem-se a um horizonte temporal de curto prazo (2050), no qual a mudança do clima seria ainda de pouca magnitude, as tendências reveladas devem ser encaradas com cautela. Se o Brasil não se beneficia em termos de impacto econômico em nenhum dos dois cenários de mudança do clima de curto prazo, provavelmente as consequências serão muito maiores quando tais mudanças se tornarem de maior magnitude na segunda metade do século XXI.

A elaboração destes cenários suscita uma série de questões que merecem ser estudadas rapidamente: que perdas sistêmicas o país deverá enfrentar quando forem incluídas no modelo macroeconômico as perdas de serviços ambientais decorrentes das modificações e perdas dos ecossistemas, os custos de sustentar a infraestrutura nos mesmos patamares de serviços do que sem as mudanças climáticas, as possíveis perdas com saúde pelo aumento de doenças, as perdas com os impactos causados pelo aumento do nível do mar, os impactos sobre a infraestrutura urbana, entre outros tantos? E, mais ainda, qual a magnitude das perdas caso haja eventos extremos recorrentes não simulados neste estudo? Sem dúvida estes aspectos deverão ser considerados em análises econômicas futuras, sendo tema de pesquisa da maior relevância.







CAPÍTULO 6

Redução de emissões

# Redução de emissões

Neste capítulo discutem-se as principais opções do país para contribuir com o esforço global de reduzir emissões, que no caso brasileiro correspondem primordialmente a: (i) custo de redução de emissões na região amazônica, controlando o desmatamento; (ii) impacto dos biocombustíveis para reduzir ainda mais as emissões do país e ajudar outros países a alcançarem esse objetivo; e (iii) a utilização de uma taxa sobre emissão de carbono como instrumento de mitigação e seus impactos na economia.

Um quarto item de importância fundamental são opções de mitigação no setor energético. O tema foi objeto específico de um estudo concomitante do Banco Mundial, em parceria com o governo brasileiro, tendo entre seus executores a mesma equipe técnica responsável pelos capítulos de energia do presente estudo. As análises aqui apresentadas se baseiam, assim, apenas nos resultados obtidos no trabalho do Banco Mundial.

## 6.1. Redução do desmatamento na Amazônia Brasileira e seus custos de oportunidade<sup>13</sup>

O setor de mudança no uso da terra e florestas (principalmente desmatamento de florestas tropicais) é a segunda maior fonte global de gases de efeito estufa, com uma contribuição estimada entre 8% e 28% das emissões de CO<sub>2</sub> no ano de 1990. No Brasil, estima-se que o desmatamento na Amazônia seja responsável hoje por cerca de 60% das emissões nacionais, o que representa enorme potencial para atividades de mitigação.

Para reduzir tais emissões, um sistema de remuneração e incentivos entre o Brasil e outros países poderia ser instituído – o Brasil receberia um pagamento em quantia pelo menos igual à atual renda gerada pelo desmatamento, e a comunidade mundial reduziria as emissões de carbono a um custo menor. Este mecanismo, denominado REDD (redução de emissões de desmatamento e degradação de florestas), ainda em fase de definição, pode ser adotado nas negociações em curso no âmbito da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima.

Em vista da importância do tema, dois estudos foram contratados para avaliar os custos de oportunidade do desmatamento. O capítulo propõe ainda como um instrumento como REDD poderia ser implementado no Brasil em termos de incentivos econômicos.

### Metodologia

A presente seção se baseia em dois estudos. Um deles (Strassburg, 2009) desenvolve um modelo de

equilíbrio parcial baseado em três exercícios. O primeiro identifica para quais usos da terra a Amazônia brasileira tem sido convertida historicamente e, então, estima seu retorno econômico. Incluem-se 64 diferentes produtos em cada uma das 102 microrregiões da Amazônia Legal, para o período 1997-2006. O segundo estima o retorno máximo que poderia ser obtido na mesma área. Um terceiro e último exercício estima os futuros usos da terra e o retorno econômico associado ao desmatamento no período de 2010-50.

O outro estudo (IPAM, 2007) desenvolve um modelo bottom-up (de baixo para cima) que impõe limitações biofísicas, climáticas e de infraestrutura à expansão da agricultura e da pecuária nas regiões de floresta tropical. O trabalho é composto por duas partes: na primeira, os modelos são combinados para estimar os custos de oportunidade da conservação da floresta usando modelos de renda para as três principais atividades – madeira, soja e gado. O segundo exercício calcula os custos de reduzir as emissões de carbono do desmatamento para próximo de zero, em um período de dez anos. Além dos custos do programa, é feita uma avaliação inicial dos benefícios dessas reduções para a sociedade brasileira e dos elementos da organização institucional necessários.

### Resultados

As estimativas médias do custo de oportunidade nos dois estudos diferem por um fator pouco maior que 2. A principal justificativa da divergência é que, ao considerar apenas três culturas alternativas, o estudo do Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM) ignora outras que têm um custo de oportunidade líquido muito alto (cerca de 10 vezes maior que o da pastagem) e ocupam 19% da área, segundo Strassburg. Este, por outro lado, inclui tais culturas, mas superestima seu potencial de expansão ao não considerar no modelo a adequação da terra e do clima, bem como a existência ou não de infraestrutura e mercados.

Os autores do presente estudo desenvolveram um conjunto de suposições revisadas para cada modelo, em um esforço de correção das limitações identificadas em cada um. Para o estudo de Strassburg, o custo de oportunidade das outras culturas foi reduzido de US\$ 6.480 por hectare para US\$ 3.500, por conta dos problemas de mercados e volumes projetados. Para o modelo do IPAM permitiu-se introduzir “outras culturas”, mas em apenas 10% da terra. O resultado mostra os dois modelos convergindo para um custo de oportunidade de US\$ 1.000 por hectare, aqui adotado como uma

[13] Esta seção se baseia em dois estudos e em uma colaboração direta. O primeiro – “Os determinantes agrícolas e o retorno econômico do desmatamento na Amazônia brasileira entre 1997-2006 e 2010-2050” (Strassburg 2009) – foi coordenado por Bernardo Strassburg (Instituto GAEA e Universidade de East Anglia) e integrado por Felipe Cronemberger (UFF), Gilla Sunnenberg (UEA) e Annabel Kelly (UEA). O segundo estudo – “Os custos e benefícios da redução das emissões de carbono do desmatamento e da degradação de florestas na Amazônia brasileira” (IPAM 2007) – foi elaborado por uma equipe constituída por Daniel Nepstad (WHRC, IPAM), Britaldo Soares-Filho (UFMG), Frank Merry (WHRC), Paulo Moutinho (IPAM, WHRC), Hermann Oliveira Rodrigues (UFMG), Maria Bowman (WHRC), Steve Schwartzman (ED), Oriana Almeida (UFPA) e Sergio Rivero (UFPA). Robert Schneider (consultor) foi responsável pela integração dos dois estudos e pelos cálculos do programa de REDD proposto.

estimativa razoável para o custo de oportunidade médio para agricultura em terras da floresta Amazônica.

### Proposta de um programa de REDD

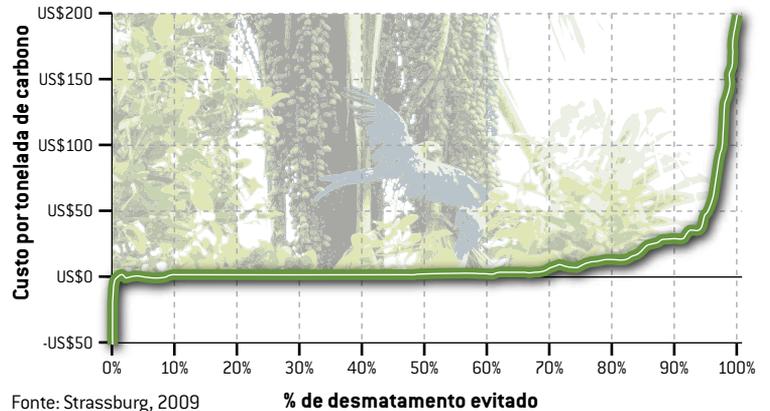
Apenas o estudo do IPAM propõe um programa de REDD potencial, no qual há ressarcimento aos agricultores por não exercerem atividades agropecuárias. Inspirado nesse estudo, sugere-se aqui algo distinto. As seguintes hipóteses são consideradas na formulação do programa, de um ponto de vista microeconômico (incentivos/desincentivos para interromper o desmatamento, sem nada supor sobre o formato de um acordo internacional para um programa de REDD):

- Proprietários de terras teriam direito de produzir pelo maior valor de mercado, seja soja ou quaisquer outros produtos para o mercado internacional de serviços ambientais;
- O programa de REDD seria voluntário;
- O governo brasileiro teria acesso a recursos do programa de REDD para cobrir custos extras com administração e monitoramento, necessários para que o programa seja eficaz; e
- Um preço médio de REDD na Amazônia superior a US\$3/t de C (aproximadamente US\$ 450/ha) desestimularia efetivamente grande parte das criações de gado da Amazônia, exceto as mais lucrativas (15-30% do total).

Sob o último aspecto, o resultado identificado em ambos os estudos é importante para compreender o enorme potencial do Brasil de auferir ganhos significativos com mecanismos como o REDD aqui proposto para evitar emissões provenientes do desmatamento. Embora seja responsável por aproximadamente 70% do desmatamento, a criação de gado gera apenas 20% do valor líquido de produção total. Isso sugere que a maior parte das áreas desmatadas poderia ser preservada pagando-se um mínimo valor pelo estoque de carbono contido na floresta. A curva do custo de oportunidade mostra que cerca de 95% do desmatamento poderia ser evitado pagando-se menos de US\$ 50 por tonelada de carbono contido na floresta. Mais ainda: 70% do desmatamento poderia ser evitado pagando-se em média US\$3/tonelada de carbono, um valor relativamente baixo, se comparado com muitas das alternativas existentes no mercado de energia (por exemplo).

**O CUSTO DA FLORESTA EM PÉ:** evitar 70% do desmatamento custaria US\$ 3 por tonelada de carbono

**Custo do carbono de desmatamento (cumulativo), 1997-2006**



Fonte: Strassburg, 2009

### Resultados

Os resultados foram calculados sob diversos cenários: (i) o percentual de área a ser remunerado (20% ou 50%); e (ii) o percentual a ser alocado em culturas de alta rentabilidade (30% ou 15%). Estas percentagens são utilizadas apenas a título de ilustração, podendo variar entre 0 e 100. O gráfico “Um programa REDD” ilustra o fluxo dos fundos de compensação envolvido, no caso de um programa de 30 anos, considerando 20% passíveis de remuneração e 15% das terras com culturas de alta rentabilidade.

A curva apresenta um ponto de inflexão após o trigésimo ano, quando os contratos mais antigos começam a expirar, e apresenta um declínio após o quadragésimo ano, quando não há novas terras disponíveis nem novos contratos assinados. Pode ser necessário continuar pagando os fazendeiros para que a terra não seja destinada a usos de baixa rentabilidade.

Sob as mesmas hipóteses e com base nas projeções de desmatamento de Soares-Filho (2010-2050), o custo anual máximo do programa seria atingido no quadragésimo ano – variando de US\$ 460 milhões a US\$ 2,6 bilhões. O custo do programa por hectare protegido, em valor presente líquido, varia de US\$ 24 a US\$ 124. Observa-se que, com um valor médio de carbono da floresta de

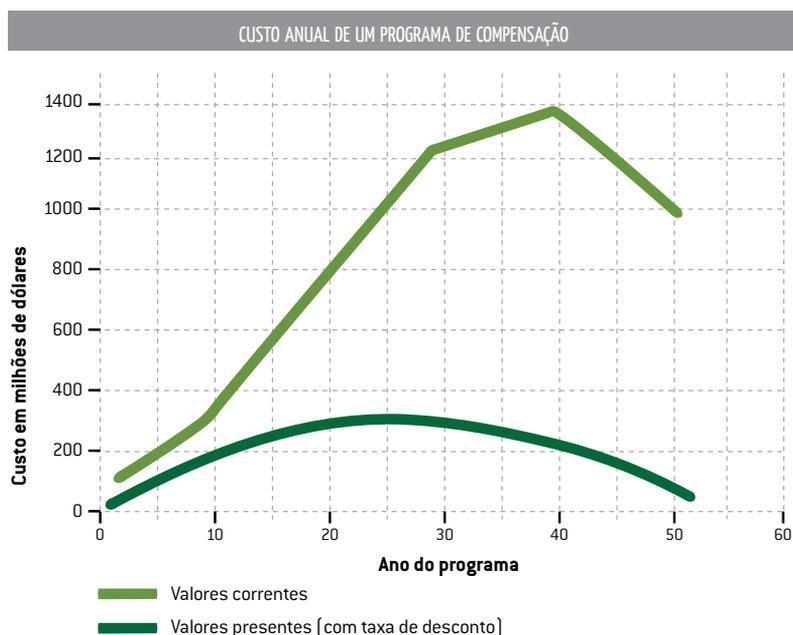


**O CUSTO DE PRESERVAR A FLORESTA:** custo de oportunidade da agropecuária na Amazônia

	Alocação de terra (% do total)		Custo de oportunidade (US\$/ha)	Participação no hectare médio (US\$)	
	Estudo 1*	Estudo 2**	Estudo 1*	Estudo 1*	Estudo 2**
<b>Pastagem</b>	69%	84%	402	277	338
<b>Soja</b>	12%	6%	2.051	246	123
<b>Outras Culturas</b>	19%	10%	3.500	665	350
<b>TOTAL PONDERADO</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	--	<b>1.189</b>	<b>811</b>

\*Strassburg \*\*IPAM

**UM PROGRAMA REDD DE 30 A 50 ANOS:** Custo anual alcança US\$ 1,2 bilhão anual no 30º ano e no 40º começa a cair



150t/ha, esses números geram de US\$ 0,17 a US\$ 0,87 por tonelada de carbono armazenado em 30 anos.

### Conclusões e recomendações

Os cálculos realizados se referem ao custo dos pagamentos diretos do programa aos proprietários por renunciarem a explorar áreas com atividades agropecuárias. Como são desembolsos contínuos para ressarcir-los do custo de oportunidade, atuam como um incentivo ininterrupto para que fazendeiros respeitem o contrato de armazenagem de carbono. Para que o sistema de compensação funcione, é importante promover o fortalecimento das Secretarias de Estado do Meio Ambiente no sentido de criar a estrutura institucional necessária ao monitoramento e à implementação do programa. O custo para reforçar a estrutura institucional foi estimado pelo IPAM em aproximadamente US\$ 40 milhões por ano.

## 6.2. Biocombustíveis

### 6.2.1. Cenários de biocombustíveis<sup>14</sup>

**Esta seção apresenta** trajetórias para o consumo potencial de etanol e biodiesel até 2035 com base em premissas dos cenários A2 e B2 do IPCC. Tal exercício teve o propósito de: (i) fornecer uma base sobre a qual se pudesse testar a hipótese de que a mudança do clima global possa restringir o atendimento da demanda futura por biocombustíveis; (ii) subsidiar a análise integrada do setor energético para cálculo das opções de adaptação de menor custo e para a construção de cenários macroeconômicos; e (iii) alimentar o modelo econômico

de expansão da cana-de-açúcar apresentado na seção seguinte.

### Metodologia

A projeção da demanda interna de etanol e biodiesel no Brasil para o período 2005 a 2035 partiu de dois cenários para o consumo energético do setor de transportes, A2-BR e B2-BR. O primeiro prioriza automóveis em detrimento do transporte coletivo, devido ao aumento do poder aquisitivo e à inexistência de políticas de incentivo ao transporte público. A segunda trajetória, por outro lado, incorpora práticas e tecnologias de uso mais eficiente de energia, substituição por combustíveis menos poluentes e/ou renováveis (álcool e biodiesel), maior substituição intermodal e gestão integrada da mobilidade urbana.

A demanda interna de etanol automotivo no Brasil se baseia em um número reduzido de variáveis para estimar o consumo energético do segmento. O consumo energético anual do modal rodoviário foi calculado a partir do produto da frota de veículos por tipo de combustível pela distância média percorrida pelos veículos por tipo de combustível, multiplicados ainda pelo consumo específico médio da frota em litros/km.

A demanda interna de biodiesel incluiu o transporte de carga, com crescimento estimado de 1,2 trilhão para 5,2 trilhões de toneladas-quilômetro transportadas, e de passageiros. O crescimento da frota de ônibus em A2-BR foi associado exclusivamente ao crescimento populacional. Em B2-BR, a participação dos ônibus no transporte de passageiros aumenta dos atuais 600 bilhões para 970 bilhões de passageiros-quilômetros em 2035, 25% mais que no cenário anterior (que também prevê maior consumo energético dos ônibus por conta dos congestionamentos).

Na projeção das exportações brasileiras de etanol, foram considerados: (i) o potencial de utilização de álcool pelos demais países na mistura com gasolina; (ii) o potencial do Brasil, considerando suas limitações de infraestrutura; e (iii) a entrada da tecnologia de segunda geração (hidrólise).

### Resultados

**Etanol.** Mantido o percentual de mistura de álcool anidro na gasolina nos mesmos 25% de 2005, em A2-BR a demanda nacional por álcool combustível deverá passar de 12 bilhões de litros em 2005 para 92 bilhões de litros em 2035 (dos quais 88 bilhões de litros de álcool hidratado). Em B2-BR, a demanda interna de etanol fica em torno de 42 bilhões de litros (40 bilhões de álcool hidratado).

A evolução futura das exportações brasileiras de etanol pode ser dividida em três períodos: de 2005 a 2015 e de 2025 a 2035, com crescimento menos acentuado, e de 2015 a 2025, com crescimento mais

[14] Esta seção se baseia no estudo com o mesmo título, elaborado pelo Programa de Planejamento Energético da COPPE/UFRJ. O estudo foi liderado por Roberto Schaeffer e Alexandre Szklo, tendo como integrantes André Frossard Pereira de Lucena, Raquel Rodrigues de Souza, Bruno Soares Moreira Cesar Borba, Isabella Vaz Leal da Costa, Amaro Pereira Júnior e Sergio Henrique F. da Cunha. Contou com a avaliação dos cenários internacionais obtidos em "Análise de cenários de médio prazo (2020-2030) de demanda global de energia e de etanol brasileiro", estudo contratado por este projeto coordenado por Emilio La Rovere, do Laboratório Interdisciplinar de Meio Ambiente da COPPE/UFRJ.

expressivo. No primeiro período, a principal barreira à exportação de etanol deverá ser a infraestrutura.

Supôs-se que, devido às descobertas de petróleo no pré-sal, poderá haver atraso nos investimentos em infraestrutura para o álcool. Isso limitará o atendimento da demanda externa, e em 2010 o volume de exportação não seria muito diferente do atual, alcançando em torno de 4,5 bilhões de litros.

A partir de 2015, espera-se que o Brasil melhore sua infraestrutura para se manter como líder no mercado internacional de etanol e eleve as exportações até 60 bilhões de litros em 2025. A partir daí, com a concorrência de novos produtores utilizando tecnologia de segunda geração, o volume brasileiro exportado seria restringido, voltando a crescer de forma menos acentuada até o patamar de 75 bilhões de litros em 2035.

**Biodiesel.** O percentual de mistura de biodiesel ao diesel foi estimado de acordo com a lei brasileira – 2% a partir de 2008 e 5% a partir de 2013. Considerou-se uma mistura de 10% a partir de 2030. Na trajetória A2-BR, a demanda nacional poderá atingir 10 bilhões de litros, enquanto na trajetória B2-BR a expectativa é que fique em torno de 8 bilhões de litros. O segundo cenário, apesar da maior utilização dos ônibus, resulta em uma demanda menor de biodiesel em relação ao cenário A2-BR devido às considerações de crescimento do setor produtivo muito fortemente baseadas em transporte ferroviário elétrico.

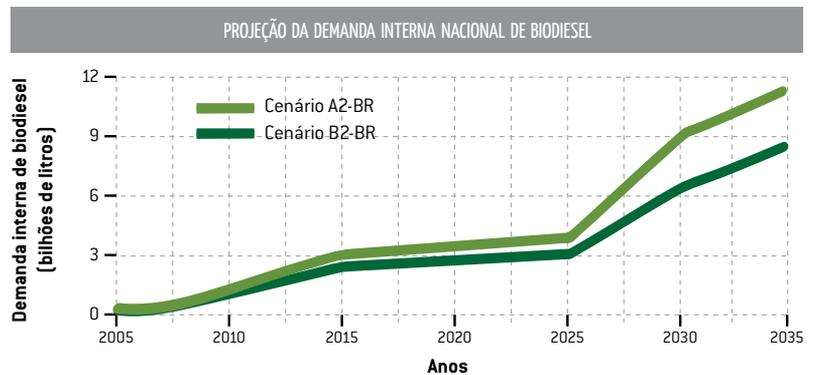
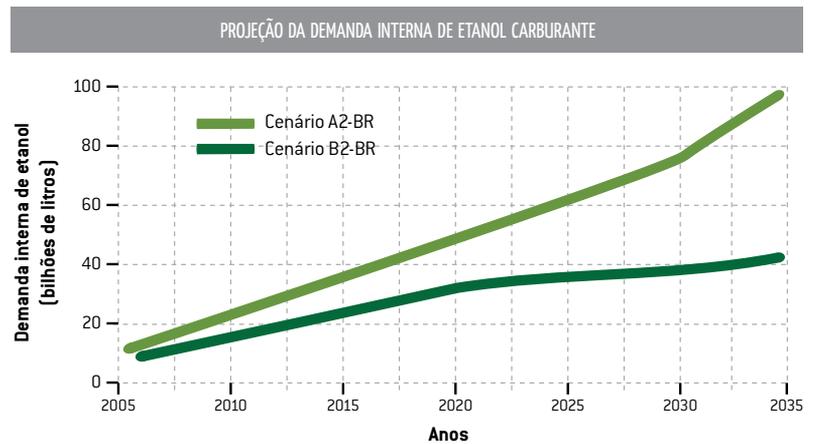
## 6.2.2. Aspectos econômicos da expansão da cana-de-açúcar<sup>15</sup>

**Os impactos socioambientais** da produção de etanol a partir da cana-de-açúcar têm sido tema de ampla discussão, em especial sobre desmatamento na Amazônia e segurança alimentar. Esta seção avalia os impactos potenciais da expansão da cana-de-açúcar em ambos os setores.

### Metodologia

Para analisar a potencial competição entre biocombustíveis, florestas e produção de alimentos, foram realizadas simulações a partir de um modelo econométrico de uso da terra em nível municipal. O modelo se fundamenta na maximização de lucro do produtor rural: dados os preços dos produtos, o custo dos insumos e as projeções climáticas para o período 2010-2100, o produtor escolhe a quantidade de área a ser alocada para cada tipo de uso (cana, lavouras de subsistência, outras lavouras, pasto e floresta) de modo a maximizar o lucro de suas atividades. Para a simulação dos efeitos da expansão de demanda de etanol, foram considerados os preços projetados da cana-de-açúcar e demais produtos para o ano de 2035.

## O FUTURO DOS BIOCOMBUSTÍVEIS: Evolução da demanda interna por álcool e biodiesel



### Resultados

Dados os preços projetados para o ano de 2035, estima-se um acréscimo da área de cana no Brasil de aproximadamente 19 milhões de hectares no cenário A2-BR e 17,8 milhões de hectares no B2-BR. Como a área de cana no Censo Agropecuário 1996 correspondia a aproximadamente 4,2 milhões de hectares, as simulações projetam uma área total entre 22 milhões e 23 milhões de hectares. Cerca de 80% do crescimento se concentra nas regiões Sudeste e Nordeste.

Não se observa em nenhuma região brasileira a substituição de áreas destinadas às culturas de subsistência por áreas de plantio de cana. Este resultado sugere que a variação do preço da cana não tende a promover uma competição entre esta cultura e a produção de alimentos no Brasil.

O aumento da área de cana na região Norte é pouco expressivo, sendo estimado entre 50 mil e 60 mil hectares, sugerindo não haver incentivos fortes para a expansão do cultivo na região amazônica. Uma possível explicação para o baixo impacto consiste na ausência de infraestrutura para a produção de etanol na região, o que torna a atividade pouco atrativa, mesmo na perspectiva de aumentos expressivos no preço da cana.

O pequeno avanço da área de cana na região Norte



[15] Esta seção se baseia no estudo "Produção de etanol e seus impactos sobre o uso da terra no Brasil", elaborado pelo IPEA por uma equipe composta por José Feres (coordenador), Juliana Speranza, Paulo Antônio Viana, Thaís Barcellos e Yanna Braga.

**A EXPANSÃO DA LAVOURA:** avanço da cana ameaça remanescentes de florestas no Sudeste e no Nordeste

VARIAÇÃO DE ÁREAS SEGUNDO O TIPO DE USO, EM 2035 (EM 1.000 ha)

**Cenário A2-BR****Cenário B2-BR**

não se dá pela conversão de áreas de florestas, mas através da conversão de áreas de pasto e da substituição das áreas alocadas para outras culturas. Este padrão de mudança do uso do solo sugere que a expansão da cana não venha a exercer uma pressão pelo desmatamento da região amazônica.

Por outro lado, o avanço das áreas de cana previsto nas regiões Sudeste e Nordeste se dá em detrimento das áreas de floresta e matas dos estabelecimentos agrícolas, sugerindo que o crescimento da produção de cana poderia causar importantes impactos ambientais, particularmente severos no Sudeste, caso não sejam adotadas e postas em prática políticas de uso do solo adequadas.

**Conclusões e recomendações**

As simulações sugerem que não há incompatibilidade entre a produção de cana e de alimentos e, ao mesmo tempo, a conservação de florestas. Entretanto, restringem-se a analisar os incentivos aos agricultores decorrentes de mudanças nos preços de mercado, mantendo inalteradas as condições de infraestrutura e as políticas vigentes. Políticas públicas equivocadas, tais como a concessão de benefícios fiscais para instalação de usinas de álcool na região Norte, podem trazer sérias consequências ambientais não consideradas neste estudo.

**6.2.3. Aspectos socioambientais da expansão da cana-de-açúcar<sup>16</sup>**

**Esta seção avalia** a sustentabilidade da expansão da produção de cana-de-açúcar para etanol no Brasil, até

2035, com base em uma série de indicadores ambientais e sociais. Desenvolveu-se uma abordagem com alocação das novas áreas pelas 558 microrregiões do país (segundo a classificação do IBGE), em função de variáveis de mercado, condições climáticas e solos.

Para o cálculo da variação total foram somadas todas as variações de área de cana previstas pelo modelo econométrico descritas na subseção anterior. Depois foi calculada a razão entre a variação da área de cana da microrregião e a sua área total de cana em 1996. Segundo o modelo, entre 1996 e 2035, para a trajetória A2-BR serão incorporados, no Brasil, 23 milhões de hectares de novas áreas de cana, totalizando 27,8 milhões de hectares.<sup>17</sup>

A distribuição espacial indica a permanência de grandes áreas de cana nos estados de São Paulo, Pernambuco e Alagoas, com um crescimento na região Centro-Oeste, principalmente nos estados de Mato Grosso do Sul e Goiás. Já no cenário B2-BR, serão incorporados 18,7 milhões de hectares, 32% a menos que no outro cenário. A distribuição espacial seria quase a mesma entre os dois cenários.

Esta metodologia permitiu identificar as 105 microrregiões prioritárias para análise, nas quais a tendência espontânea do mercado será de ampliar em mais de 10 mil hectares a área plantada de cana-de-açúcar. As avaliações que se seguem enfocam essencialmente as condições obtidas com a simulação A2-BR, na qual se projeta maior penetração da cana.

**Metodologia**

A metodologia se inspira na Avaliação Ambiental

[16] Esta seção se baseia em um estudo com o mesmo título preparado pelo Laboratório Interdisciplinar de Meio Ambiente da COPPE-UF RJ, elaborado por Emilio Lèbre La Rovere (coordenador), Daniel Fontana Oberling, Martin Obermaier, Renzo Solari e William Wills.

[17] As áreas de cana aqui apresentadas, tanto em A2-BR quanto em B2-BR, não coincidem totalmente com as do item 6.2.2 porque os dados de saída do modelo lá utilizado foram repassados a esta análise em nível de agregação microrregional, e a modelagem deste item precisou fazer uma desagregação em nível municipal, usando uma metodologia de estimação que gerou a diferença.

Estratégica (AAE) e sua filosofia de priorizar a análise de sustentabilidade, conferindo-lhe um caráter enxuto, rápido e transversal no planejamento setorial. Os fatores críticos mais relevantes para o caso do etanol brasileiro são: biodiversidade, solos, recursos hídricos, qualidade do ar local, clima global, segurança alimentar, geração de emprego e condições de trabalho. A omissão de alguns fatores relevantes se deu por falta de dados em nível microrregional.

**Biodiversidade.** Utilizou-se um indicador denominado “Índice de Necessidade de Área” (Oberling, 2008), que corresponde à razão entre a área necessária para comportar a cana-de-açúcar em 2035 e a área total ocupada pelos estabelecimentos agrícolas em 2006. Supôs-se que as áreas dos estabelecimentos agrícolas não variarão no horizonte do estudo. Definiu-se uma escala com três estados de pressão sobre a biodiversidade, que dependem da relação da superfície de plantios de cana em 2035 e a área dos estabelecimentos agrícolas em 2006 para cada microrregião: (i) Baixa pressão (relação < 20%); (ii) Média pressão, para relações no intervalo 20-65%; (iii) Alta pressão, para relações maiores que 65%.

**Perda de Solo.** No Brasil, há solos que têm produzido cana-de-açúcar por mais de 200 anos e com rendimentos crescentes (Goldemberg et al., 2008). A cultura da cana é considerada pouco causadora de erosões em comparação com outras (como a soja e o feijão), com uma perda anual de 12,1 toneladas por hectare, dependendo das práticas de colheita e produção. Com a tecnologia atual de colheita mecanizada sem a queima da palha (de tendência crescente), os solos também se conservam, porque grandes quantidades de biomassa são deixadas sobre ele. Entretanto, dada a dificuldade de estimar qual cultura (ou pecuária) será

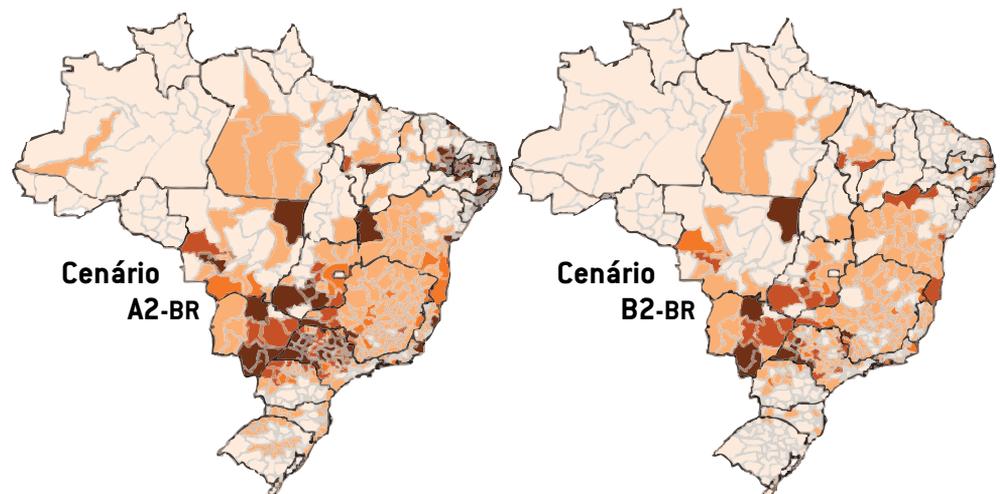
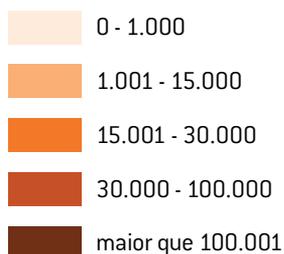
substituída por cana, usou-se o indicador de pressão sobre a biodiversidade como proxy (substituto) para a intensidade de perda de solo.

**Disponibilidade hídrica.** As lavouras de cana-de-açúcar são intensivas em água, mas não prevalece a prática da irrigação, por ocuparem áreas com pluviosidade adequada. No processo de produção de álcool e açúcar (50% para cada), estima-se um consumo de água de 21 m<sup>3</sup>/t de cana, podendo cair para 5,6 m<sup>3</sup>/t de cana em ciclo fechado (Macedo, 2005). O indicador de pressão sobre a disponibilidade de água é a relação entre captação total necessária para produção de etanol (processo industrial) e a vazão disponível na sub-bacia predominante na microrregião. Cada uma das sub-bacias e microrregiões analisadas foi enquadrada em escalas de pressão, refletindo a pressão do processo industrial da cana na utilização do recurso, estabelecendo-se dois cortes e, portanto, três categorias de pressão.

**Qualidade do Ar.** O etanol como combustível automotivo influencia a qualidade do ar de duas maneiras: através da queima em veículos leves, pois ajuda a reduzir a emissão de poluentes, e na sua própria produção, podendo provocar piora na qualidade do ar nos municípios produtores pela colheita com queimadas, que ocorre em 70% da área plantada. Optou-se pelo uso só de um indicador de queimadas na colheita, que capta a relação entre o percentual da área total da microrregião com queimada e o percentual da população urbana exposta nessas mesmas microrregiões. A escala de pressão baseou-se em dois fatores de corte: população urbana e área da queimada. Na situação atual, cerca de 7% das microrregiões analisadas estão sob condições de alta pressão, 47% sob média pressão e 46% sob baixa pressão; 54% das microrregiões sob alta pressão (20) estão no estado de São Paulo. >>

#### EXPANSÃO DA CANA ATÉ 2035 POR MICRORREGIÕES DO IBGE

##### Áreas de cana em 2035 (ha)



**Clima Global.** O etanol de cana-de-açúcar, produzido nas condições corretas, é um combustível renovável que tem claras vantagens sobre a gasolina no que diz respeito às emissões de gases do efeito estufa. Diferentes fatores de emissões evitadas foram considerados, conforme o tipo de etanol (anidro ou hidratado) e o seu destino (mercado doméstico ou exportação). As emissões evitadas são relativas ao uso de álcool no Brasil [42 bilhões e 92 bilhões de litros de etanol nos cenários considerados], somadas à exportação de álcool para outros países. A hipótese de exportação é que o Brasil atenderia a 1/3 da demanda de etanol mundial em 2035, quando o total exportado pelo Brasil atingiria 75 bilhões de litros nos dois cenários. Para o cálculo das emissões evitadas pelo álcool brasileiro exportado, foram consideradas duas hipóteses extremas: na primeira, todo o etanol deslocaria o consumo de gasolina nos países importadores; na segunda, substituiria o etanol de milho nos EUA.

**Segurança alimentar.** A avaliação dos possíveis efeitos sobre a segurança alimentar em nível microrregional necessita de estudos mais detalhados sobre como alterações nos preços dos alimentos influenciam o equilíbrio do mercado local. Também há necessidade de aprofundar hipóteses de substituição de áreas de uso da agricultura familiar por áreas de cana nas microrregiões. O indicador usado de segurança alimentar consiste na variação das áreas de culturas alimentares entre 1996 e 2035, por estado, de acordo com o modelo econométrico de uso do solo.

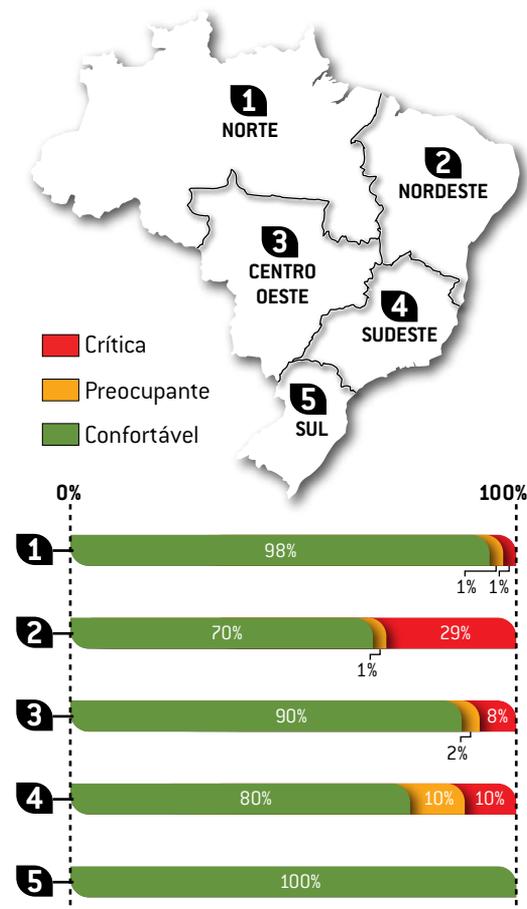
**Emprego e condições de trabalho.** O modelo econométrico tem por foco avaliar os impactos sobre o padrão de uso da terra. Estimativas do impacto sobre emprego e renda só podem ser feitas indiretamente. No entanto, a estimativa indireta aqui apresentada pode ser vista como um indicador da sustentabilidade social da cana-de-açúcar. O indicador adotado foi a variação de emprego na parte agrícola (número de cortadores da cana) entre 1996 e 2035, calculado com base em hipóteses sobre o grau da mecanização e a produtividade média dos trabalhadores.

## Resultados

**Biodiversidade.** O indicador de pressão sobre a biodiversidade na trajetória A2-BR mostra que a maior parte das 558 microrregiões ficou enquadrada na categoria de baixa pressão (462), seguidas por 71 microrregiões sob alta pressão e somente 25 microrregiões sob pressão média. O estado com maior percentagem de microrregiões afetadas com alta pressão é São Paulo (18%), seguido pela Paraíba, com 12%, e depois Ceará, Pernambuco, Alagoas, Rio Grande do Norte. Na trajetória B2-BR, as microrregiões de alta pressão e média pressão ficam em 3% cada,

## PRESSÃO DO ETANOL SOBRE AS SUB-BACIAS

Síntese dos indicadores de pressão sobre recursos hídricos



Indicador de disponibilidade hídrica por microrregiões e sub-bacias





restando 94% de regiões com baixa pressão.

É importante destacar que a alta pressão sobre a biodiversidade se dá sobretudo nos biomas da Mata Atlântica, com 52,1% dos casos, o que agrava a situação de um ecossistema que já é altamente degradado e figura entre os 25 hotspots mundiais, e na Caatinga, com 47,9%. Os indicadores mostram também que o bioma amazônico seria pouco pressionado diretamente, mas não se exclui que venha a ser afetado indiretamente pelo deslocamento de outras culturas. Por fim, dado o volume de terras que deverão ser incorporadas, a cana-de-açúcar não parece ser fator fundamental de pressão sobre a biodiversidade, no nível nacional.

**Perda de solo.** 83% das microrregiões foram classificadas na categoria “menor intensidade”. Isso

mostra que a expansão da cana-de-açúcar traz mais oportunidades que riscos para a conservação do solo, já que, na comparação com outros usos, principalmente soja, pecuária e áreas degradadas, apresenta menores índices de perda. Atente-se no entanto para o fato de que grande concentração das áreas pode gerar perdas de solo, pressionando as sub-bacias hidrográficas.

**Disponibilidade hídrica.** A trajetória A2-BR indica que 24% das sub-bacias hidrográficas brasileiras estariam pressionadas pela produção de etanol. Para a situação “crítica”, a região hidrográfica Nordeste Oriental apresentou a maior quantidade de sub-bacias (cinco), seguida pela região hidrográfica do Paraná, com quatro, e pelas regiões hidrográficas Atlântico Leste e do São Francisco, com duas cada. A região Nordeste seria,



portanto, a mais problemática no abastecimento hídrico para a produção do etanol.

**Qualidade do ar.** A combinação de área plantada em 2035 com pequeno percentual de mecanização e grandes concentrações populacionais foi determinante para o estimado aumento da pressão sobre a qualidade do ar nos estados do Nordeste, em particular nas microrregiões Brejo Pernambucano, Mata Alagoana, Mata Setentrional Pernambucana e Mata Meridional Pernambucana. Já nos estados do centro-sul, os maiores ganhos com a mecanização beneficiarão justamente as áreas onde mora a maioria dos afetados, no interior de São Paulo.

**Clima global.** O valor máximo de emissões evitadas, em 2035, corresponde ao cenário A2-BR na situação em que as exportações de etanol brasileiro substituem o uso de gasolina nos países importadores, e a quantidade anual de CO<sub>2</sub> evitada seria de 362 milhões de toneladas. O valor mínimo da faixa ocorreria no cenário B2-BR, na hipótese das exportações brasileiras substituírem o etanol de milho nos EUA, com as emissões anuais evitadas de 187 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> (valores atingidos no ano de 2035).

**Segurança alimentar.** As simulações indicam um pequeno aumento das áreas das culturas de subsistência em todo o país, mesmo nos estados do Nordeste e em São Paulo, onde ocorre forte expansão da cana, o que poderia ocasionar problemas para a segurança alimentar, se combinado com o crescimento populacional nesses estados. Os valores fornecidos pelo modelo não permitem concluir se a nova organização gerará conflitos com a agricultura familiar, principalmente no Nordeste do país, que

terá um crescimento da área das culturas analisadas muito inferior ao da área de cana. Mesmo com a forte entrada da cana, os preços relativos dessas culturas permitirão a manutenção das áreas das culturas de subsistência em alguns estados. Nesse sentido, não há como ser conclusivo a respeito do risco de perda de qualidade da dieta das populações rurais mais pobres do Nordeste.

**Emprego e condições de trabalho.** A projeção do número de empregos gerados mostra um resultado surpreendente: em vez de cair, o número de cortadores de cana aumentaria em 2035. No cenário A2-BR, estimam-se 743 mil trabalhadores em todo o Brasil, o que significa um aumento significativo frente aos números atuais.

Hoje a maioria dos cortadores trabalha na região centro-sul, particularmente no estado de São Paulo. Essa tendência se reverteria até 2035, na trajetória A2-BR, com a forte mecanização no centro-sul: em torno de 150 mil trabalhariam nessa região (contra os 237.860 de hoje), enquanto nas regiões Norte e Nordeste haveria 595 mil trabalhadores, a grande maioria nos estados nordestinos. Esse resultado teria um imenso impacto também sobre a migração dos trabalhadores, que mudaria de padrão, em favor de fluxos intrarregionais e de menor migração do Nordeste para as regiões ao sul do país. Cumpre notar finalmente que a mecanização tem um impacto muito forte na substituição da mão-de-obra, enquanto mudanças na produtividade dos trabalhadores têm um impacto menor.

### Conclusões e recomendações

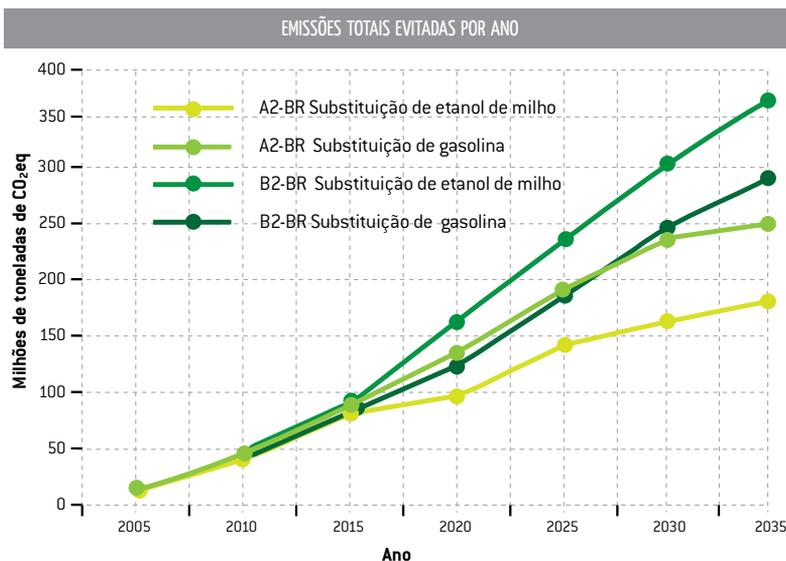
No que tange à biodiversidade, recomenda-se uma estratégia de diálogo com a iniciativa privada que viabilize o uso de Reservas Legais, Áreas de Preservação Permanente e Reservas Privadas do Patrimônio Natural (RPPNs), no contexto do Código Florestal, como instrumentos para o desenvolvimento de corredores ecológicos, principalmente na Mata Atlântica e no Cerrado.

Para minimizar os problemas com a qualidade do ar, há necessidade de criar capacidade institucional para fazer cumprir as leis e protocolos ou outros instrumentos de proibição das queimadas.

No que tange à segurança alimentar local, a desconcentração da produção deve ser um dos objetivos da expansão dos biocombustíveis, evitando que praticamente toda a área agricultável de um município seja tomada pela monocultura da cana, como os cenários indicaram e como é o caso já em alguns municípios, hoje, particularmente no estado de São Paulo. O estímulo a projetos que privilegiem o uso múltiplo do solo, com rotação de culturas, pode ser uma boa estratégia.

Nas regiões com grande previsão de mudança na estrutura de emprego, os governos podem utilizar seu aparato educacional, em parceria com o setor privado,

**EMISSIONES EVITADAS POR BIOCOMBUSTÍVEL:** Etanol de Cana pode economizar até 362 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>/ano em 2035



para requalificar e capacitar a mão-de-obra local de modo a prepará-la para as novas demandas de um setor especializado. Deve-se atentar ao fato de que os cenários sinalizam um aumento da produção no Nordeste, onde pode ocorrer um aumento de casos de trabalho degradante, já que o percentual de mecanização é geralmente menor nessa região.

Deve-se vincular a concessão de crédito governamental (BNDES, Banco do Brasil, Banco do Nordeste etc.) a indicadores socioambientais e de nível tecnológico (como a colheita mecanizada), de modo que só receberiam crédito governamental as empresas que fossem ambientalmente amigáveis e com forte geração de empregos e de renda local.

A certificação dos biocombustíveis, se baseada em indicadores plausíveis, pode ser um instrumento eficiente para adequar o etanol brasileiro a padrões de sustentabilidade mínimos. É preciso ressaltar, porém, que o processo deve ser conduzido de forma responsável, liderado pelo governo, mas com certificação realizada por entidades independentes credenciadas, de forma a evitar sua utilização como barreiras protecionistas não-tarifárias contra os biocombustíveis do Brasil.

### 6.3. Efeitos da taxaço sobre emissão de carbono na economia<sup>18</sup>

A **taxação de carbono**, uma das alternativas em debate na negociação internacional sobre emissões, tem como objetivo controlar a expansão ou reduzir o nível das emissões de gases do efeito estufa na economia. Pode ser uma forma eficiente de atingir metas de redução de emissões nos processos produtivos das firmas e no consumo das famílias.

Colocar um preço no carbono permite atingir quatro objetivos: (i) sinalizar aos consumidores quais bens e serviços têm elevado conteúdo de carbono e devem, portanto, ser evitados; (ii) induzir as firmas à substituição de insumos por opções de baixo carbono; (iii) proporcionar incentivos de mercado para a inovação e o desenvolvimento de produtos de baixo carbono; e (iv) permitir que os três mecanismos acima sejam postos em operação com o menor custo de informação possível. Para simular o uso de uma taxa de carbono na economia brasileira, utilizou-se o modelo de equilíbrio geral computável EFES, modificado para as questões de taxaço de carbono e emissões de gases do efeito estufa, resultando na implementação do modelo EFES-Green.

#### Metodologia

A simulação utilizou uma taxa de carbono em três níveis: US\$ 10, US\$ 20 e US\$ 50 por tonelada de CO<sub>2</sub>-equivalente. A taxa foi transformada em imposto ad valorem (sobre o valor), presumindo que todos os usuários de um combustível emissor sofram a mesma

tributação. Foram também tributadas as emissões decorrentes do nível de atividade dos setores, ou seja, não decorrentes do uso de combustíveis (como a produção de metano na pecuária bovina). As emissões decorrentes do desmatamento e do uso da terra foram parcialmente tratadas no item 6.1. deste capítulo.

O imposto afeta preços relativos, que alteram uso de insumos, nível de atividade e emissões em cada setor, uma vez que empresas e consumidores migram para outros produtos mais baratos. É concebido como um imposto neutro, cuja receita retorna às famílias por meio de subsídio proporcional do governo aos preços dos produtos. As simulações adotam as hipóteses de que o consumo do governo, o investimento e o consumo das famílias permanecem fixos.

#### Resultados

Os resultados devem ser lidos como desvios em relação a uma trajetória da economia brasileira na qual a taxaço não ocorresse. Assim, um imposto de US\$ 50 por tonelada pode diminuir o nível de emissões em 1,87%, relativamente a um cenário sem essa tributação. O custo dessa política seria uma redução relativa do PIB de 0,13%.

As maiores reduções ocorrem nas emissões derivadas do uso de carvão, GLP, petróleo e gasolina. As reduções de gases do efeito estufa decorrentes do impacto no nível de atividade são relativamente baixas.

Os setores mais prejudicados no nível de atividade por uma taxaço de US\$ 50/tonelada foram aço, equipamentos de transporte, extração mineral, produtos químicos e refino. O ranking setorial pouco se altera no caso das tarifas de US\$ 10 e US\$ 20. Pecuária, agricultura, alimentos e serviços foram relativamente beneficiados, seja porque são pouco

**[18]** Esta seção se baseia no estudo "Efeitos de taxaço de carbono na economia brasileira" desenvolvido por equipe da FIPE-USP liderada por Eduardo Haddad e composta por Edson Domingues e Fernando Perobelli.

**IMPACTOS DE UMA TAXA DE CARBONO:** imposto de US\$ 50/t sacrificaria 0,13% do PIB anual

IMPACTOS NA EMISSÃO POR FONTE (VARIACÃO %)			
Fonte de emissão	Tarifa de carbono (US\$/t CO <sub>2</sub> -eq)		
	US\$ 10	US\$ 20	US\$ 50
Petróleo	-0,49	-0,92	-2,03
Carvão	-1,48	-2,79	-5,74
GLP	-0,55	-1,02	-1,90
Gasolina	-0,49	-0,92	-2,03
Gasoolcool	-0,22	-0,41	-1,03
Óleo Combustível	-0,18	-0,34	-0,80
Diesel	-0,17	-0,31	-0,77
Outros do Refino	-0,26	-0,49	-0,82
Atividade	-0,29	-0,56	-0,51
<b>Total</b>	<b>-0,45</b>	<b>-0,84</b>	<b>-1,82</b>
<b>PIB</b>	<b>-0,03</b>	<b>-0,06</b>	<b>-0,13</b>

[19] Esta seção se baseia no estudo Banco Mundial, 2009 – “Cenário de baixa emissão de carbono no Brasil”, no prelo) feito em parceria com o governo brasileiro, tendo entre seus executores a mesma equipe técnica responsável pelos capítulos de energia do presente estudo, do Programa de Planejamento Energético da COPPE/UFRJ (responsável pelo relatório-síntese de energia do estudo). Os coordenadores do estudo são Roberto Schaeffer e Alexandre Szklo, tendo como pesquisadores Bruno S.M.C. Borba e David Castelo Branco. O coordenador do estudo do Banco Mundial é Christophe de Gouvello.

intensivos no uso de combustíveis, seja pelo impacto positivo do subsídio ao consumo das famílias.

Deve-se ressaltar que as simulações adotam a hipótese de que os setores não alteram a tecnologia de produção quando sofrem a tributação de carbono. O investimento na adoção de tecnologias menos poluentes pelas empresas poderia tanto evitar o pagamento do imposto como potencializar a redução das emissões. Assim, os resultados devem ser tomados como um limite inferior de redução, e seu custo (em termos de redução do PIB), como limite superior.

### Conclusões e recomendações

Os resultados obtidos indicam o potencial de redução das emissões na economia brasileira com a taxação de carbono e a importância de taxar também as fontes de gases do efeito estufa não ligadas ao uso de combustíveis, como pecuária e agricultura. Em um país como o Brasil, com uma matriz energética relativamente “limpa”, essas fontes de emissão assumem uma importância ainda maior.

Uma forma de potencializar o impacto da taxação de carbono seria criar mercados de certificados de emissões, pois a conjugação dos dois instrumentos pode levar a uma

redução de emissões mais eficiente e de menor custo.

Embora a taxação permita reduzir emissões de gases do efeito estufa e seja também uma política relativamente simples de implementar, não é possível garantir que o nível de emissões se estabilize em um patamar considerado razoável nos próximos anos. Uma trajetória de crescimento acelerado da economia brasileira nas próximas décadas, mesmo com os impactos da crise financeira mundial a partir de 2008, requer que os níveis de emissão sejam acompanhados com atenção e que políticas de mitigação sejam ajustadas ao longo dessa trajetória.

Cabe ressaltar novamente que não se levaram em conta as emissões decorrentes do desmatamento. A modelagem adequada de sua relação com a atividade econômica demanda estudos mais detalhados. Os impactos regionais das políticas de mitigação devem ser um ponto relevante na formulação de políticas e foco relevante de pesquisa econômica no futuro.

### 6.4. Setor energético<sup>19</sup>

A **intensidade de emissão** de gases do efeito estufa pelo setor energético brasileiro é relativamente baixa



quando comparada aos padrões internacionais, devido à alta participação de fontes renováveis na matriz energética. Em 2007, 45,9% da oferta interna foi de energia renovável, enquanto em 2006 a média mundial foi de 12,9% e nos países da OECD, 6,7%. Tal fato se deve à expressiva participação da hidreletricidade (74,3% da oferta interna de energia elétrica) e da biomassa (principalmente o álcool, o bagaço de cana-de-açúcar e o carvão vegetal).

Como consequência dessa matriz “limpa”, o setor de energia do Brasil contribuiu com 329 milhões de toneladas equivalentes de gás carbônico (tCO<sub>2</sub>-e), em 2005, de um total mundial de cerca de 27 bilhões tCO<sub>2</sub>-e, o que corresponde a cerca de 1,77 tCO<sub>2</sub>-e por ano por habitante, comparado a uma média global de 4,22 tCO<sub>2</sub>-e/hab/ano.

No entanto, a expansão da oferta de hidreletricidade no país projeta um significativo crescimento de fontes mais emissoras de carbono (como usinas termelétricas a carvão, óleo combustível e gás natural). Soma-se a isso o possível aumento do uso dos derivados de petróleo, em particular o diesel, com o crescimento dos setores agroindustrial e de transporte de cargas, assim como o de consumo de carvão metalúrgico para a indústria siderúrgica.

## Metodologia

O estudo do Banco Mundial resumido neste relatório faz uma avaliação técnica e econômica de alternativas para o Brasil se desenvolver com baixa intensidade de carbono em setores-chave. Ele foi desenvolvido em quatro etapas: (i) estimativa da evolução futura das emissões de gases do efeito estufa consistente com metas de crescimento do governo, estabelecendo assim um cenário de referência; (ii) identificação e quantificação das opções menos intensivas em carbono para mitigar emissões ou sequestrar carbono; (iii) avaliação dos custos associados às opções de baixo carbono e identificação das principais barreiras à sua adoção imediata; e (iv) construção de um cenário de baixas emissões consistente com os objetivos de desenvolvimento de longo prazo do governo brasileiro.

Quatro principais opções foram avaliadas. Nesta seção apresenta-se apenas uma síntese dos resultados e conclusões de um desses itens,<sup>20</sup> sobre redução das emissões associadas à produção e utilização de energia, especialmente eletricidade, gás e petróleo.

## Cenários para 2030

A construção dos cenários até 2030 utilizou os parâmetros socioeconômicos do cenário B1 do Plano Nacional de Energia 2030 (PNE 2030), considerado um cenário intermediário. Mesmo contemplando um nível relativamente elevado de fontes renováveis na matriz, a

implementação do PNE 2030 resultaria em maior nível de emissões ao longo do tempo: pouco mais de 690 milhões tCO<sub>2</sub> em 2030 (sem considerar combustíveis para transportes), um aumento de 81%, conferindo ao setor energético 33% das emissões nacionais (contra 27% em 2010). O total acumulado de emissões do setor no período 2010-2030 seria de 10,9 bilhões tCO<sub>2</sub>.

O setor de transportes (não analisado aqui) e a indústria deverão ser os maiores contribuintes para o crescimento das emissões no longo prazo. Entretanto, é a geração elétrica que apresenta a maior taxa de crescimento de emissões no período (25 anos), quase 7% ao ano, fazendo com que a participação desse segmento nas emissões aumente de 6% em 2005 para mais de 10% em 2030.

## Potencial de mitigação

O desenvolvimento do cenário de baixa emissão de carbono foi baseado em uma análise das seguintes opções de mitigação: do lado da demanda, (i) eficiência energética no consumo de eletricidade, e (ii) reduções de emissões pelo uso de combustíveis fósseis pela indústria; do lado da oferta, (i) cogeração a partir de biomassa, (ii) energia eólica, e (iii) refino e Gas-to-Liquid (liquefação de gás, ou GTL na abreviação em inglês). O estudo não considerou a expansão da hidreletricidade por já fazer parte do cenário de referência.

O potencial máximo de redução das emissões de dióxido de carbono da área de energia é de 1,8 bilhões de toneladas no período 2010-2030, com destaque para a substituição de carvão vegetal de desmatamento por carvão vegetal de plantações (31% do potencial total do setor), com vistas a eliminar o uso da biomassa não renovável no setor industrial até 2030. De acordo com o cenário de referência utilizado, as emissões brasileiras na área de energia deverão passar de aproximadamente 500 milhões de toneladas para mais de 975 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> entre 2010 e 2030.

Considerando as 25 medidas propostas para sete setores na área de energia, as emissões em 2030 podem ser reduzidas para 815 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>. Esta redução de 160 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> (o equivalente a 16% das emissões em 2030) poderá ser alcançada majoritariamente pelo setor industrial, que responderia por 72% da redução em 2030, e pela introdução do GTL no Brasil, que equivaleria a 12% da redução de 2030.

## Análise econômica

Para estimar os custos marginais de abatimento das opções de mitigação de carbono ao longo do período 2010-30, o estudo realizou duas análises. A primeira, uma “abordagem social”, emprega taxa de desconto anual de 8% utilizada no PNE 2030, que

**[20]** As outras três possibilidades analisadas no estudo do Banco Mundial são: (i) redução das emissões associadas ao uso do solo, mudança do uso do solo e florestas (LULUCF, sigla em inglês), incluindo o desmatamento; (ii) promoção de sistemas de transporte mais eficientes e menos carbono-intensivos; e (iii) mitigação das emissões ou captura e uso de biogás de resíduos sólidos e líquidos urbanos.



fornece uma comparação intersetorial da custo-efetividade das opções de mitigação e sequestro consideradas. A segunda estimou o preço de equilíbrio (*break even*) do carbono de acordo com critérios de taxas de retorno setoriais. Esta abordagem explora as condições nas quais as medidas propostas tornam-se atraentes para investidores privados.

## Resultados

Os resultados sugerem que, usando a taxa de desconto social de 8%, os custos marginais das várias opções de mitigação oscilam entre US\$ -248/tCO<sub>2</sub>,<sup>21</sup> no caso da cogeração a bagaço de cana-de-açúcar, e US\$ 516/tCO<sub>2</sub>, para o aumento da eficiência dos aparelhos de ar condicionado no setor residencial. Usando a taxa de

desconto privada setorial, os valores variam de US\$ 10/tCO<sub>2</sub> a US\$ 2.807/tCO<sub>2</sub>.

A síntese dos custos envolvidos nas opções mitigadoras na área de energia é apresentada em formato de curva de custo de abatimento, onde são identificados os custos associados e o respectivo potencial de redução das emissões de gases de efeito estufa de cada opção proposta. Este tipo de curva permite identificar o custo total associado à construção das opções de mitigação propostas.

Para a taxa de desconto social (8%), a implementação das opções de redução das emissões de dióxido de carbono da área de energia gera um benefício de US\$ 34 bilhões em 2030, o que equivale a um ganho médio de US\$ 13/t de CO<sub>2</sub> evitado. Ou seja,

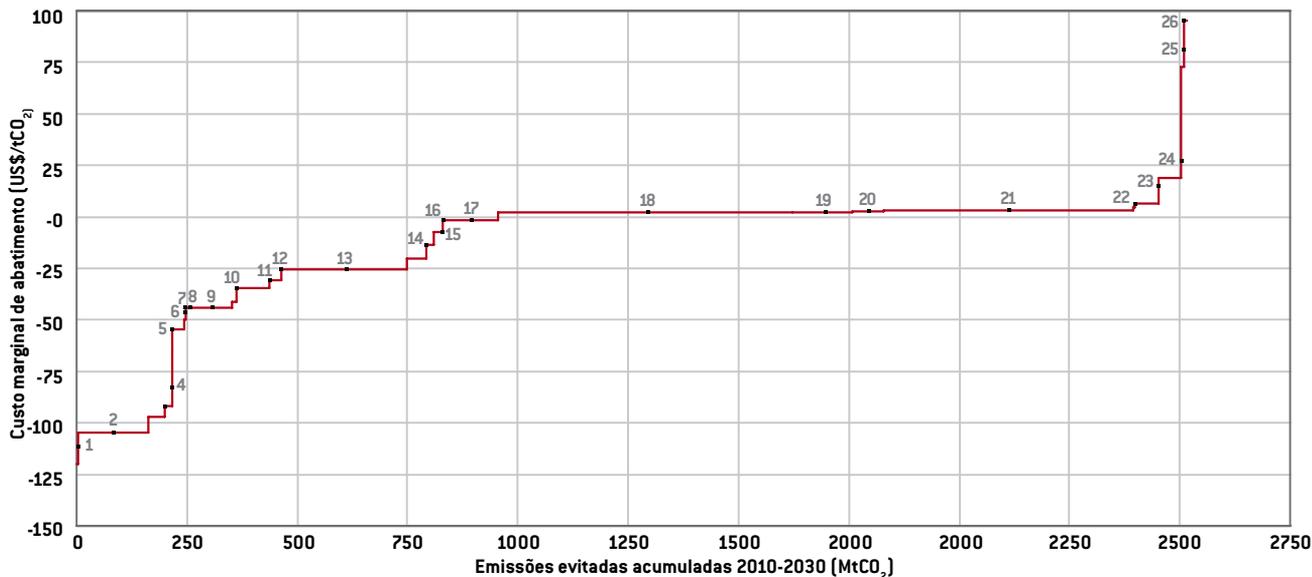
[21] A quantia negativa indica que na realidade obtém-se um ganho.

## REDUÇÃO DE EMISSÕES: potencial de redução de emissões do setor de energia para o Brasil, 2010-30

CUSTOS E BENEFÍCIOS					
Setor	Opções de Mitigação de Baixo Carbono	Redução das emissões (MtCO <sub>2</sub> )	Custo marginal de abatimento, US\$/tCO <sub>2</sub> (tx.desc. 8%)	TIR esperada no Setor	Break Even Preço Carbono (US\$/tCO <sub>2</sub> )
Industrial	Otimização da combustão	105,2	-44,1	15%	n/a
	Sistemas de recuperação de calor	19,0	-91,7		n/a
	Recuperação de vapor	37,3	-97,0		n/a
	Recuperação de calor em fornos	283,0	-25,6		n/a
	Novos processos	135,4	2,1		173,6
	Outras medidas de eficiência energ.	18,3	-13,5		n/a
	Energia solar térmica	25,8	-54,7		n/a
	Reciclagem	74,8	-34,5		10,4
	Substituição por gás natural	43,7	-20,2		68,9
	Substituição de fóssil por biomassa renovável*	69,2	2,8		41,8
	Substituição da parcela não renovável da biomassa*	567,0	2,9		41,8
Eólica	Eólica	19,3	-7,6	15%	98,5
Cogeração	Cogeração	157,9	-248,2	10%	34,0
Residencial	Aquecedor Solar	3,0	161,8	79%	1.397,6
	Lâmpadas	3,1	-119,7		n/a
	Refrigeradores (MPES)	9,5	41,8		547,5
Comercial / Industrial	Motor	1,5	-49,8	15%	72,3
	Iluminação Industrial	0,6	-65,0		n/a
	Iluminação Comercial	1,5	-52,3		n/a
GTL	GTL	128,2	-1,5	25%	33,9
Refino	Mudança Design de novas refinarias	51,8	19,1	15%	106,1
	Uso eficiente de energia, refinarias existentes ( <i>Heat Integration</i> )	52,3	6,6		74,8
	Idem ( <i>Fouling Mitigation</i> )	7,0	72,9		208,5
	Idem (Controle avançado)	7,0	95,1		431,5
	<b>Potencial de redução total</b>	<b>1.821</b>	<b>--</b>	<b>--</b>	<b>--</b>
Opções Adicionais	Exportação de etanol	666,9	2,1		
	Interligação Venezuela	27,9	-30,5		
	<b>Total geral</b>	<b>2.516</b>			

\*Nota: sem consideração do carbono sequestrado nestas plantações.

## CURVA DE CUSTO MARGINAL DE ABATIMENTO : Taxa de Desconto de 8% a.a. (reduções de emissões acumuladas 2010-2030)



- |                                    |                                                       |                                                                              |
|------------------------------------|-------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| 1 Iluminação residencial           | 10 Refrigeradores (MEPS)                              | 19 Novos processos industriais                                               |
| 2 Cogeração (cana-de-açúcar)       | 11 Reciclagem                                         | 20 Substituição de outros combustíveis por biomassa                          |
| 3 Sistemas de recuperação de vapor | 12 Linha de transmissão Brasil-Venezuela              | 21 Substituição de carvão vegetal não renovável por carvão vegetal renovável |
| 4 Sistemas de recuperação de calor | 13 Sistema de recuperação de calor de forno           | 22 Aquecimento solar residencial                                             |
| 5 Iluminação industrial            | 14 Substituição de combustíveis por gás natural       | 23 Integração energética de refinarias existentes                            |
| 6 Energia térmica solar            | 15 Outras medidas de eficiência energética            | 24 Novas refinarias                                                          |
| 7 Iluminação comercial             | 16 Energia eólica                                     | 25 Controle de incrustação em refinarias existentes                          |
| 8 Motores elétricos                | 17 Conversão de gás a líquido (GTL)                   | 26 Controles avançados em refinarias                                         |
| 9 Otimização da combustão          | 18 Exportação de etanol para substituição de gasolina |                                                                              |

superado o problema de obtenção de financiamento, há ganhos econômicos a serem auferidos com a eficiência energética.

### Conclusões e recomendações

Apesar de a intensidade de emissão de gases de efeito estufa do setor energético ser baixa, o Brasil se encontra no grupo de países emergentes cuja oferta e demanda de energia deverão crescer muito nos próximos anos. A simulação de um conjunto de opções de mitigação associadas tanto à eficiência energética quanto à substituição entre fontes energéticas demonstra que é relevante o potencial de redução das emissões: 1,8 GtCO<sub>2</sub>, acumulado entre 2010 e 2030.

Parte importante das opções de mitigação tem custos de abatimento negativos, constituindo, assim, medidas sem margem para arrependimento (no regrets) que deveriam ser implementadas superando barreiras de mercado. Destacam-se a cogeração a partir da biomassa, a otimização da combustão e recuperação de vapor no setor industrial e o uso de lâmpadas fluorescentes no setor residencial. Quanto à substituição de fontes, merece destaque o setor industrial, responsável por 73% das emissões evitadas

do cenário de baixo carbono no período até 2030, particularmente com a substituição de biomassa não-renovável (lenha e carvão vegetal de desmatamento) por biomassa exclusivamente de plantações.

A não implementação de medidas de eficiência energética no Brasil tem sido objeto de discussão. No caso do setor industrial, inúmeras alternativas têm prazos de retorno relativamente curtos e apresentam taxas internas de retorno atrativas para as empresas, mas estão além da taxa de retorno exigida por consumidores finais. Estas medidas têm sido colocadas em segundo plano pelas empresas, que têm optado por empregar recursos em outras partes de seus processos produtivos ou em outros empreendimentos.

Os atuais incentivos à eficiência energética demonstram ser ainda insuficientes. Eles poderiam compreender linhas de financiamento mais atrativas e ágeis, com depreciação acelerada de equipamentos, redução de encargos e taxas para produtos mais eficientes, redução de impostos para empresas mais eficientes etc. Observa-se também uma atuação pouco voltada para o setor industrial, onde se concentra boa parte do potencial, salvo as ações na área de motores elétricos. Com relação ao uso de combustíveis no setor industrial, praticamente inexistem ações de maior envergadura. #





CAPÍTULO 7

Conclusões e  
recomendações

# Conclusões e recomendações

## 7.1. Principais resultados e lições

**Este estudo** sobre os impactos econômicos da mudança do clima no Brasil, apesar das limitações ressaltadas, demonstra que o problema é de grande importância para a agenda de desenvolvimento do país. Custos e riscos potenciais são grandes e recaem acima de tudo sobre as populações pobres e vulneráveis, principalmente nas regiões Norte e Nordeste. Além dessa elevada relevância social, o combate à mudança do clima oferece uma oportunidade e ao mesmo tempo demanda a integração de políticas públicas.

As projeções dos impactos da mudança do clima sobre a economia brasileira nos próximos 40 anos sugerem ser possível associar metas ambiciosas de crescimento com a redução de emissões de gases de efeito estufa. Do ponto de vista estritamente econômico, trata-se de elevar a competitividade do país e assegurar amplo acesso a mercados que tendem a favorecer produtos e serviços com baixa emissão de carbono.

O fundamental, portanto, é garantir que a matriz energética mantenha-se “limpa” e que o crescimento do PIB nacional também seja gerado de forma “limpa”. Dadas as condições atuais da economia brasileira, nenhum desses fatores implica restrições ao Brasil. Almejar metas ambiciosas de crescimento e crescer de forma “limpa” constituem um dos principais desafios na construção do futuro.

### Perspectivas macroeconômicas

A análise revela que o PIB brasileiro seria entre 0,5% (cenário A2-BR) e 2,3% (cenário B2-BR) menor do que em uma situação sem mudança do clima. Se os custos dessa mudança até 2050 no Brasil fossem antecipados para hoje, a uma taxa de desconto intertemporal de 1,0% ao ano, o valor ficaria entre R\$ 719 bilhões (A2-BR) e R\$ 3,655 trilhões (B2-BR), o que representaria de 25% a 125% do valor do PIB brasileiro de 2008. Uma perda substantiva: de hoje até 2050, os brasileiros poderiam perder mais que o PIB de um ano inteiro por força da mudança do clima.

É importante salientar que, apesar de as perdas com a mudança do clima serem menores na trajetória A2-BR do que na B2-BR, em média todos os brasileiros estarão consumindo mais no segundo caso do que no primeiro, com ou sem mudança do clima. O cenário B2-BR, no qual a economia mundial é mais adequada ao combate das mudanças climáticas, eleva a renda nacional em relação a A2-BR, que implica maior intensidade de carbono. Mesmo descontando os impactos climáticos, o PIB no cenário

B2-BR, em 2050, seria superior em R\$ 405 bilhões ao de A2-BR. Ou seja, a renda nacional crescerá mais e assim se manterá mesmo ao absorver os impactos climáticos.

Do ponto de vista do bem-estar da população brasileira, estimam-se efeitos ainda mais fortes da mudança do clima, com o consumo real projetado para 2050 inferior em 3,4% à linha de base na trajetória B2-BR, equivalente a uma redução anual da ordem de US\$ 200 bilhões no consumo das famílias brasileiras (valores de 2008). Em termos per capita, haveria uma perda para o cidadão médio brasileiro de US\$ 874 (no mesmo cenário B2-BR). É importante assinalar que a mudança do clima global tende a aumentar a pobreza no Brasil, com resultados mais intensos no cenário B2-BR.

### Perspectiva setorial

**Recursos hídricos.** A despeito da não concordância dos modelos climáticos quanto à precipitação futura, as disponibilidades hídricas superficiais para quase todas as regiões no Brasil apresentam uma diminuição para os dados de clima fornecidos pelo INPE e também para a média de 15 modelos climáticos globais. Os resultados projetados são alarmantes para algumas bacias, principalmente na região Nordeste, com uma redução brusca das vazões até 2100 para os dois cenários considerados, chegando em muitos casos a valores praticamente nulos.

**Energia.** O impacto mais relevante no setor é a perda de confiabilidade na geração de energia elétrica a partir de fontes hidráulicas. Os impactos são particularmente pronunciados nas regiões Norte e Nordeste. Nas regiões Sul e Sudeste, que concentram a maior parte do parque gerador, os impactos são mínimos ou até positivos, mas não o suficiente para compensar as perdas do Norte e do Nordeste, ameaçando a confiabilidade do sistema hidrelétrico e forçando a expansão da capacidade instalada, que poderá ficar ociosa grande parte do tempo.

**Agricultura.** Com exceção da cana-de-açúcar e da mandioca, que deverão sofrer um impacto positivo, todas as outras culturas terão diminuídas as áreas com baixo risco de produção. Os maiores impactos ocorrem nas culturas de soja, milho e café. O estudo sugere também que poderá ocorrer uma redução significativa das áreas de florestas e matas nos estabelecimentos agrícolas. A produtividade agrícola nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste deverá cair, em particular a das culturas de

subsistência no Nordeste, impactando ainda mais suas precárias condições socioeconômicas e aumentando as desigualdades regionais brasileiras.

**Biodiversidade.** Analisaram-se os impactos da mudança do clima sobre (i) o bioma Amazônia, (ii) perda de espécies, (iii) produtividade primária líquida e (iv) serviços dos ecossistemas, este último incluindo uma simples avaliação monetária. A despeito das grandes limitações de conhecimento técnico sobre os possíveis efeitos, os resultados estão de acordo com os encontrados na literatura e sugerem um quadro de significativo impacto da mudança do clima sobre a biodiversidade, os ecossistemas e os serviços por eles providos. As perdas dos serviços ambientais no cenário A2-BR seriam em torno de US\$ 26 bilhões/ano.

**Zona costeira.** A diferença de renda entre as diversas regiões costeiras é marcante e reflete a maior ou menor presença de grandes cidades e de municípios com portos e terminais, indústria de petróleo ou atividades de aquicultura. A região Sudeste é a que apresenta a maior taxa de PIB/km de linha de costa, destacando-se o estado do Rio de Janeiro, onde quatro de seis microrregiões têm um PIB/km acima de R\$ 100.000. Considerando o cenário mais elevado de nível do mar e eventos meteorológicos, a estimativa dos valores materiais em risco ao longo de toda a costa brasileira é de R\$ 136 bilhões a R\$ 207,5 bilhões.

### Perspectiva regional

Em termos regionais, o principal impacto da mudança do clima é a ameaça maior às regiões mais pobres do país, intensificando as desigualdades regionais. Elas aumentam a concentração da atividade no espaço e reforçam também as desigualdades sociais, aumentando a pobreza. A redução do bem-estar nas áreas rurais pode gerar pressões sobre as aglomerações urbanas, embora haja setores e regiões que se beneficiem do processo. As maiores perdas deverão ocorrer no interior. Os impactos da mudança do clima na infraestrutura urbana ainda demandam mais estudos.

As áreas mais vulneráveis à mudança do clima no Brasil são a Amazônia e o Nordeste, justamente as mais pobres. Na Amazônia, o aquecimento gradativo pode chegar a 7-8°C em 2100, no cenário A2-BR, o que prenuncia uma alteração radical da floresta amazônica – a chamada “savanização”. Uma das perguntas-chaves a serem respondidas pelos cientistas é: Quais são os eventuais tipping points (pontos de não-retorno) a partir dos quais o processo de savanização da Amazônia se tornaria irreversível? Sem dúvida este é um dos temas mais relevantes e complexos em relação à mudança do clima no Brasil, e as pesquisas ainda estão apenas em fase inicial.

No caso do Nordeste, as chuvas tendem a diminuir, durante o século XXI, numa taxa da ordem de 2-2,5 mm/dia. Isso levará a perdas agrícolas em todos os estados >>



da região e a sua concomitante pecuarização. Com avanço da pecuária, a situação futura da zona rural nordestina tende a se deteriorar ainda mais, uma vez que a pecuária dominante apresenta baixos níveis de produtividade. Nesse sentido, é preciso investigar melhor o bioma caatinga, em termos dos impactos esperados e de sua capacidade de suporte futura. A região está sujeita a sérios riscos de saúde, provavelmente sem precedentes históricos, agravando ainda mais as condições socioeconômicas do Nordeste, um quadro preocupante.

No que tange aos estados, à exceção daqueles mais frios, que passarão a ter temperaturas mais amenas e, portanto, mais propícias à agricultura, todos os demais terão perdas expressivas. As consequências dos impactos climáticos refletem majoritariamente sua distribuição regional na agricultura. Essa distribuição sugere que a trajetória A2-BR pode ser de menor impacto nacional, uma vez que a agropecuária nos estados do Sul e Sudeste – as regiões com mais forte participação no total nacional – é menos afetada e até beneficiada, relativamente à trajetória B2-BR.

### Desenvolvimento e capacidade de resposta

Os impactos da mudança do clima se apresentam mais intensos ao longo do tempo, e não no curto prazo. Seus efeitos em 2035 atingirão um Brasil com renda per capita equivalente àquela da Coreia do Sul de hoje. Em 2050, ela será pouco menor que a do Japão atual. Isso sugere que o melhor “remédio” para o problema seria simplesmente crescer e desenvolver-se, porque com tais níveis de renda sempre seria possível proteger-se dos efeitos da mudança do clima e ao mesmo tempo diminuir as emissões de gases do efeito estufa por meio de tecnologias que ainda serão desenvolvidas. Além disso, os pobres seriam menos pobres e, portanto, menos vulneráveis aos impactos da mudança do clima.

A tese, que decerto não pode ser descartada de imediato, desconsidera no entanto as incertezas sobre a mudança do clima e os riscos de efeitos irreversíveis adquiririam dimensões catastróficas, ameaçando a própria sobrevivência do planeta e dos homens. O crescimento e o desenvolvimento são de fato respostas apropriadas; a Holanda, por exemplo, país extremamente vulnerável à elevação do nível do mar, não tem um nível de preocupação como o de Bangladesh diante do mesmo problema, porque sua capacidade de defesa é muito superior. No entanto, confiança e capacidade de resposta têm limites claros, independentemente dos níveis de renda nacional. A devastação causada pelo furacão Katrina é uma triste lembrança para o país mais rico do mundo, teoricamente dotado com a melhor tecnologia e a melhor infraestrutura de adaptação e defesa para grandes desastres naturais, que tendem a se tornar mais intensos com a mudança do clima.

### Adaptação

Analisaram-se alternativas de adaptação à mudança do clima em três setores. Na agricultura o melhoramento genético e a engenharia genética de segunda geração são alternativas altamente viáveis para mitigar os impactos previstos da mudança do clima, com razão aproximada de benefícios sobre custos chegando a 15, ou seja, os custos decorrentes das medidas de adaptação, neste caso, podem reduzir-se a até 1/15 do valor das perdas devidas à mudança do clima caso nada seja feito. A irrigação se mostra vantajosa no caso do milho, e bem menos nas demais culturas. Tais medidas demandam aportes significativos de recursos, principalmente na trajetória A2-BR, para todas as culturas.

No setor energético, para fazer frente à mudança do clima seria preciso instalar uma capacidade extra de geração entre 162 TWh e 153 TWh por ano. Essa capacidade adicional seria composta principalmente por gás natural, tecnologias avançadas de queima de bagaço de cana e energia eólica. Agregadas, essas opções implicariam custos de capital da ordem de US\$ 51 bilhões a US\$ 48 bilhões. Os custos operacionais dependerão de quanto o cenário hidrológico se aproximará do cenário crítico. Caso este se realize, o custo operacional e de combustível anual (limite superior das estimativas) será de US\$ 6,9 bilhões a US\$ 7,2 bilhões.

Na zona costeira, em função do escopo limitado do estudo e da ausência de outros mais detalhados no nível nacional, não foi possível fazer uma avaliação dos custos das eventuais obras e intervenções físicas de adaptação. No entanto, os custos de ações de gestão e de políticas públicas nos diferentes níveis de governo foram estimados e comparados com o valor do patrimônio costeiro. O custo total para implantação das 14 ações recomendadas até 2050 é da ordem de R\$ 3,72 bilhões, cerca de R\$ 93 milhões por ano. O desafio mais importante a ser enfrentado no setor diz respeito à base cartográfica.

### Oportunidades de mitigação

As principais opções para o Brasil contribuir com o esforço global para reduzir suas emissões incluem: (i) controle do desmatamento da Amazônia; (ii) produção e consumo de biocombustíveis, para reduzir ainda mais suas próprias emissões e para exportação, ajudando outros países a alcançarem esse objetivo; (iii) utilização de uma taxa de carbono (que seria global, por certo); e (iv) eficiência energética. Este estudo enfocou as três primeiras opções.

**Desmatamento.** Como o desmatamento da Amazônia é responsável por cerca de 60% das emissões do Brasil, ele representa enorme oportunidade para o país reduzir suas emissões. Além disso, tem potencial para gerar recursos



**Biocombustíveis.** As emissões que podem ser evitadas no nível nacional através da substituição de combustíveis são de 203 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>-eq em 2035 na trajetória A2-BR e de 92 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>-eq em B2-BR. Devido à posição de liderança do Brasil no mercado mundial, foram também projetadas exportações de etanol para substituir gasolina e reduções adicionais daí resultantes. Somando-se os volumes de etanol a serem utilizados domesticamente e a serem exportados, seriam evitadas entre 362 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>-eq (substituição de gasolina nos mercados doméstico e internacional, em A2-BR) ou 187 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>-eq (substituição de gasolina no mercado doméstico e de etanol de milho nos EUA, em B2-BR).

A produção de etanol a partir da cana-de-açúcar tem sido mundialmente questionada por conta do desmatamento e da segurança alimentar. Estima-se neste estudo um crescimento da área de cana no Brasil de aproximadamente 19 milhões de hectares no cenário A2-BR e de 17,8 milhões de hectares em B2-BR, partindo dos 4,2 milhões de hectares apontados no Censo Agropecuário 1996.<sup>22</sup> Do lado positivo, o estudo avaliou que:

- Não se observa a substituição de áreas destinadas às culturas de subsistência por áreas de plantio de cana em nenhuma região brasileira. Os resultados indicam um pequeno aumento das áreas das culturas de subsistência em todo o país, mesmo nos estados do Nordeste e em São Paulo, onde ocorre forte expansão da cana. Este resultado sugere que a variação do preço da cana não tende a promover uma competição entre esta cultura e a produção de alimentos no Brasil.

- Igualmente, a cana-de-açúcar não parece ser fator fundamental de pressão sobre a biodiversidade, quando analisada no nível nacional.

- O pequeno avanço da área de cana na região Norte não se dá pela conversão de áreas de florestas, ou seja, a expansão da cana não vai pressionar o desmatamento da Amazônia. O aumento da área de cana na região Norte é pouco expressivo – estimado entre 50 mil e 60 mil hectares, na hipótese de que não haja incentivos perversos que fomentem esta cultura e sejam observados critérios de uso do solo que não favoreçam sua expansão na região.

- A cana-de-açúcar traz mais oportunidades que riscos para a conservação do solo.

- Mesmo incorporando a mecanização, em vez de cair o número projetado de cortadores de cana aumenta significativamente em 2035, tanto no Nordeste como no Sudeste.

Do lado negativo, os principais impactos projetados são:

- O avanço das áreas de cana previsto nas regiões Sudeste e Nordeste se dá em detrimento das áreas de floresta e matas dos estabelecimentos agrícolas, sugerindo aumento dos impactos ambientais nestas regiões.

[22] Na safra 2008/2009, a área cultivada com cana ocupou 6,7 milhões de hectares

aos agentes locais – uma fonte de renda alternativa ao desmatamento – através de um sistema de incentivos entre o Brasil e outros países. O estudo mostrou que um preço médio de REDD na Amazônia de US\$ 3 por tonelada de carbono, aproximadamente US\$ 450 por hectare, desestimularia entre 70% e 80% da criação de gado na Amazônia. Ao preço médio de US\$ 50 por tonelada de carbono, seria possível reduzir em 95% o desmatamento. O valor presente da tonelada de carbono contida na floresta na verdade foi calculado entre US\$ 0,17 a US\$ 0,41, se forem preservados 70% a 85% dos previstos 183 milhões de hectares a serem desmatados até 2050.



DESIGN/SHUTTERSTOCK

- A região Nordeste seria a mais problemática para o abastecimento hídrico na produção do etanol, seja por escassez do recurso, seja pela intensidade de ocupação das lavouras de cana.
- Nos estados do centro-sul, principalmente, continuará havendo a exposição de grandes concentrações populacionais a altos níveis de poluição atmosférica decorrente da queima da cana.

**Taxação de carbono.** É uma medida possível dentro de um quadro de negociação internacional sobre emissões. O estudo estimou o impacto da taxação nas emissões nacionais em -1,16% e -1,87%, e a queda no PIB, entre 0,13% e 0,08%, supondo que os setores não alterem a tecnologia de produção ao sofrer a tributação. Além disso, não foram incluídas no cálculo as emissões do desmatamento.

**Setor energético.** O estudo aqui utilizado sugere que, tomando como cenário de referência o Plano Nacional de Energia 2030 da Empresa de Pesquisa Energética, o potencial de redução de emissões de gases do efeito estufa será de 1,8 GtCO<sub>2</sub> acumulado no período 2010-2030. Com uma taxa de desconto de 8% ao ano, o custo total para a implantação das opções de redução na área

de energia será de US\$ -34 bilhões em 2030, equivalentes a um custo médio de US\$ -13/t de CO<sub>2</sub> – ou seja, os benefícios das opções superam seus custos.

## 7.2. Recomendações de política

**Ainda que o nível de incerteza** sobre a magnitude e o ritmo do aquecimento global seja grande, pouca dúvida existe sobre a inexorabilidade da mudança do clima. A preocupação maior está justamente na incerteza e no risco aí envolvidos: nada fazer, e se deparar futuramente com impactos gigantescos, ou tomar medidas que se mostrem precipitadas, e sacrificar recursos que poderiam ser usados em outras ações sociais e econômicas urgentes. A ciência e a arte do tomador de decisão estão em saber identificar e pôr em prática, com apoio no melhor conhecimento disponível, aquelas opções de políticas que sacrifiquem o mínimo possível de recursos futuros e ao mesmo tempo produzam um máximo de benefícios, com ou sem mudanças climáticas.

Neste sentido, a principal recomendação de política sobre mudança do clima no Brasil é aumentar o conhecimento técnico sobre o problema. Isso inclui modelos climáticos, modelos que traduzam as

mudanças esperadas do clima em impactos físicos nos diversos setores da economia (relações dose-resposta), alternativas de mitigação e adaptação mais eficientes e custo-efetivas, além das perspectivas sociais, econômicas e ambientais. As análises aqui apresentadas adotam ainda uma escala grosseira e necessitam ser desmembradas e detalhadas para aplicação no nível mais local.

A recomendação de aumentar o conhecimento não tem um caráter só acadêmico. Além de dificultar a tomada de decisões, a gravidade e a complexidade do problema exigem prontidão para agir no momento certo, dispondo de antemão de alternativas bem delineadas e analisadas, o que demanda saber hoje não disponível. O conhecimento técnico está atrelado à capacidade das instituições de governo de obter as informações necessárias e de definir políticas e incentivos apropriados. O estudo não avaliou essa capacidade, mas é relevante recomendar que estejam preparadas.

O combate à mudança do clima deve passar a integrar as políticas de forma transversal (mainstreaming). O setor ambiental, por exemplo, poderia incluir no seu processo de licenciamento fatores ligados à emissão (ou sequestro) de gases do efeito estufa, tanto no caso da agenda marrom (poluição) quanto no da agenda verde (setor agrícola e afins). Os setores de transportes, habitação, agricultura e indústria, todos, deveriam passar a incluir critérios ambientais relativos à mudança do clima em suas atividades de planejamento, com vistas a desestimular emissões e incentivar a produção e o consumo de produtos e insumos com baixo teor de carbono.

No presente, a principal recomendação é lançar mão dos inúmeros mecanismos legais existentes, incluindo incentivos econômicos, para estancar o desmatamento da Amazônia. Isso independe da possibilidade de que surja um mecanismo de remuneração financeira, em escala global, para os serviços ambientais prestados pela floresta preservada. As análises econômicas mostraram claramente que, considerando os níveis de preço do carbono hoje sugeridos, o controle do desmatamento da Amazônia seria uma opção altamente custo-efetiva para redução das emissões de carbono, independentemente de seus óbvios benefícios ecológicos e econômicos locais.

Outra recomendação importante é fortalecer ainda mais os mecanismos de proteção social, principalmente no Semi-Árido nordestino e na Amazônia. O estudo sugere que o crescimento econômico por si só diminuirá a vulnerabilidade dessas populações, mas em um processo de longo prazo e sem garantia de que diminuam em paralelo as desigualdades regionais e sociais. Dependendo da gravidade e da rapidez da mudança do clima, será preciso priorizar mecanismos de adaptação dessas populações, incluindo migrações.

O estudo fez uma análise apenas preliminar sobre

os impactos da mudança do clima na zona costeira e não incluiu a infraestrutura. Por serem os setores que envolvem maiores recursos, é imperioso que se desenvolvam estudos sobre efeitos da mudança do clima na demanda e na oferta de infraestrutura. Com grandes aglomerações urbanas na zona costeira, os custos de adaptação às elevações do nível do mar e às ressacas podem ser muito elevados.

Das análises setoriais fica também clara a necessidade de investir em pesquisa agrícola de ponta, com atenção particular ao melhoramento genético de cultivares e engenharia genética de segunda geração. Isso é fundamental em um país onde o setor agrícola tem peso estratégico e um histórico de pesquisa avançada. Um bom exemplo está na produção de etanol, campo em que o Brasil é líder nas tecnologias de todo o processo de produção – industrial e agrícola – e apresenta potencial para se manter como líder mundial. A tendência do setor de energia mundial é evidente no sentido de crescimento das fontes renováveis e de baixo teor de carbono, e o Brasil deve manter e aperfeiçoar as políticas que o levaram à liderança no setor.

É imperativo, contudo, assinalar as limitações do estudo. Os trabalhos que derem continuidade a esta investigação pioneira devem contemplar a natureza e o risco de eventos extremos muito além de 2050, e mesmo 2100, pois aí residem alguns dos maiores impactos. Para que as ações que limitarão esses riscos sejam custo-efetivas, será necessário que várias delas comecem agora. Não será fácil, pois vai demandar tempo, dinheiro e muita capacidade computacional para realizar inúmeras projeções representativas de toda a gama de situações esperadas. Mas o retorno do investimento para nortear políticas e ações será mais que compensador.

A ciência econômica tem aí um papel central a desempenhar. Existe ampla experiência com as propriedades gerais de modelos dinâmicos de grande escala, com as várias fontes de incerteza subjacentes a esses modelos e com a forma de tratá-las. Todavia, os modelos climáticos regionais e globais precisam ser aperfeiçoados e ganhar consistência com as análises de tendência histórica. No caso do Brasil, é preciso aumentar a rede de observações na região tropical da América do Sul, de modo a prover dados homogêneos e abrangentes de alta qualidade.

Este estudo, apesar de não tratar frontalmente da questão de balanceamento de riscos, estabelece uma plataforma sólida para que as análises futuras sobre os impactos no Brasil possam aprofundar os desafios, as alternativas, os custos e as oportunidades que a mudança do clima apresenta para o desenvolvimento do país, nesta e nas futuras gerações. Com a maior economia de base natural do planeta, o Brasil só tem a perder se hesitar diante dessa chance única de assumir a vanguarda do desenvolvimento sustentável para o século XXI. #

# Anexo 1: Reuniões do Conselho de Orientação / Grupo Técnico

As reuniões do Conselho de Orientação e os workshops técnicos foram realizados nas seguintes datas e locais:

## Conselho de Orientação:

- 1ª reunião na Academia Brasileira de Ciências (ABC)  
Rio de Janeiro (10/10/2007)
- 2ª reunião na sede do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, (IPEA)  
Brasília (20/02/2008)
- 3ª reunião na Faculdade de Economia Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo (FEA/USP)  
São Paulo (04/11/2008)
- 4ª reunião na Faculdade de Economia Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo (FEA/USP)  
São Paulo (14/09/2009)

## Grupo técnico:

- 1º Workshop na sede do INPE  
Cachoeira Paulista (período 16-18/12/2007)
- 2º Workshop na sede da Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS)  
Rio de Janeiro (30/3 a 01/04 de 2008)
- 3º Workshop no Ministério do Meio Ambiente  
Brasília (período 17-18/06/2008)
- 4º Workshop no Hotel Atlântico em Búzios  
Rio de Janeiro (período 15-17/09/2008)
- 5º Workshop no Hotel Marriot  
Rio de Janeiro (período 25-27/03/2009)

Cabe ressaltar a realização ainda de um workshop temático sobre o REDD – Redução de Emissões por Desmatamento Evitado das Florestas Tropicais, na sede do Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), Rio de Janeiro, em 2 de abril de 2008.

# Referências bibliográficas

- BANCO MUNDIAL (2009)**. Cenário de Baixa Emissão de Carbono no Brasil. No prelo.
- BARBIERI, A., CONFALONIERI, U., LIMA, A. C. L., TURRA, M. C., BERENSTEIN, C. K., MARINHEIRO, D. P., MODENA, C. M., BARCELOS, S. LANZA, B., SAWYER, D., DOMINGUES, E. RIGOTTI, I., CARVALHO, J. A., RESENDE, M. F. e RUIZ, R. (2008)**. Mudanças Climáticas, Migrações e Saúde: Cenários para o Nordeste Brasileiro, 2000-2050. Relatório do CEDEPLAR e LABES/FIOCRUZ.
- CAMARGO, A.P., MARIN, FR., SENTELHAS, P.C. e PICINI, A.G. (1999)**. Ajuste do Método de Thornthwaite para Estimar a Evapotranspiração Potencial em Climas Áridos e Superúmido, com Base na Amplitude Térmica Diária. Rev. Bras. Agrometeorologia. 7 (2), 251–257. 1999
- CENSO AGROPECUÁRIO DO IBGE (1996)**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro, 1996.
- COSTANZA, R., D'ARGE, R., GROOT, R., FARBER, S., GRASSO, M., HANNON, B., LIMBURG, K., NAEEM, S., O'NEILL, R. V., PARUELO, J., RASKIN, R. G., SUTTON, P. e VAN DEN BELT, M. (1997)**. The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital. Nature 387, 253 - 260 [15 May 1997].
- FERES, J., SPERANZA, J., VIANA, P. A., BARCELLOS, T. e BRAGA, Y. (2009-1)**. Impactos da Mudança do Clima no Uso da Terra. Relatório do IPEA.
- FERES, J., SPERANZA, J., VIANA, P. A., BARCELLOS, T. e BRAGA, Y. (2009-2)**. Produção de Etanol e seus Impactos sobre o Uso da Terra no Brasil. Relatório do IPEA.
- GOLDEMBERG J., COELHO S. e GUARDABASSI P. (2008)**. The Sustainability of Ethanol Production from Sugarcane. Energy Policy.
- HADDAD, E., ALMEIDA, E., AZZONI, C., DOMINGUES, E., GUILHOTO, J., KANCZUK, F. e PEROBELLI, F. (2009)**. Avaliação de Impactos de Mudanças Climáticas sobre a Economia Brasileira. Relatório da FIPE/USP.
- HADDAD, E., DOMINGUES e PEROBELLI, F. (2009)**. Efeitos de Taxação de Carbono na Economia Brasileira. Relatório da FIPE/USP.
- IPCC (1994)**. Preparing to Meet the Coastal Challenges of the 21st Century Conference Report of the World Coast Conference.
- IPCC (2001)**. Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática. 2001. Terceiro Relatório de Avaliação.
- IPCC (2007)**. Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática. 2007. Quarto Relatório de Avaliação.
- MACEDO, I.C. (2005)**. Sugarcane's Energy: Twelve Studies on Brazilian Sugarcane Agribusiness and its Sustainability. UNICA, São Paulo.
- MARENGO, J., ALVES, L. SALAZAR, L. TORRES, D. e SANTOS, D. C. (2009)**. Cenários Futuros sobre o Clima no Brasil, CPTEC/INPE
- NEPSTAD, D., SOARES-FILHO, B., MERRY, F., MOUTINHO, P., BOWMAN, M., SCHWARTZMAN, S., ALMEIDA, O. e RIVERO, S. (2007)**. The Costs and Benefits of Reducing Carbon Emissions from Deforestation and Forest Degradation in the Brazilian Amazon. Woods Hole Research Center, 28 p. IPAM (2007).
- NICHOLLS, R. J., HANSON, S., HERWEIJER, C., PATMORE, N., HALLEGATTE, S., CORFEE-MORLOT, J., CHÂTEAU, J. e MUIR-WOOD, R. (2008)**. Ranking Port Cities with High Exposure and Vulnerability to Climate Extremes - Exposure Estimates. OECD Environment Working Papers, No. 1, OECD publishing. doi:10.1787/011766488208
- OBERLING, D. (2008)**. Avaliação Ambiental Estratégica da Expansão de Etanol no Brasil: uma Proposta Metodológica e sua Aplicação Preliminar. Dissertação de M.Sc. em Planejamento Energético. PPE/COPPE – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 214 p.
- PINTO, H. S., ASSAD, E. e PELLEGRINO, G. (2009 - 1)**. Impactos da Mudança do Clima na Produção Agrícola. Relatório de Cepagri/Unicamp e Embrapa Agropecuária,
- PINTO, H. S., ASSAD, E. e PELLEGRINO, G. (2009 - 2)**. Adaptação à Mudança do Clima no Setor Agrícola. Relatório de Cepagri/Unicamp e Embrapa Agropecuária,
- PLANO NACIONAL DE ENERGIA, 2030 (PNE 2030)**. Ministério de Minas e Energia; colaboração com a Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME : EPE, 2007.
- ROSMAN, P. C. C., KLEIN, A. NEVES, C., MUEHE, D., CARVALHO, J. e ARAÚJO, M. (2009)**. Vulnerabilidades da Zona Costeira Brasileira Às Mudanças Climáticas. PENO/COPPE/UFRJ
- ROVERE, E. L. L., OBERMAIER, M., WILLS, W. e OBERLING, D. (2009)**. Análise de Cenários de Médio Prazo (2020-2030) de Demanda Global de Energia e de Etanol Brasileiro. Relatório do LIMA/COPPE/UFRJ.
- ROVERE, E. L. L., OBERLING, D., OBERMAIER, M., SOLARI, R. e WILLS, W. (2009)**. Aspectos socioambientais da expansão da cana-de-açúcar. Relatório do LIMA/COPPE/UFRJ.
- SALATI, E., SCHINDLER, W., VICTORIA, D. C., SALATI, E., SOUZA, J. C.S. e NOVA, N. A. V. (2009)**. Estimativas da Oferta de Recursos Hídricos no Brasil em Cenários Futuros de Clima (2015 – 2100)”. Relatório da FDBS.
- SALAZAR, L. F., NOBRE, C. A. e OYAMA M. D. (2007)**. Climate Change Consequences on the Biome Distribution in Tropical South America, Geophys. Res. Lett., 34, L09708, doi:10.1029/2007GL029695.
- SCHAEFFER, R., SZKLO, A., LUCENA, A.F.P., SOUZA, R. BORBA, B., COSTA, I. V. L., PEREIRA JUNIOR, A. O. e CUNHA, S. H. (2009 - 1)**. Impactos na Demanda e na Confiabilidade no Setor de Energia. Relatório do PPE/COPPE/UFRJ.
- SCHAEFFER, R., SZKLO, A., LUCENA, A.F.P., SOUZA, R. BORBA, B., COSTA, I. V. L., PEREIRA JUNIOR, A. O. e CUNHA, S. H. (2009 - 2)**. Adaptação à Mudança do Clima no Setor de Energia. Relatório do PPE/COPPE/UFRJ.
- SCHAEFFER, R., SZKLO, A., LUCENA, A.F.P., SOUZA, R. BORBA, B., COSTA, I. V. L., PEREIRA JUNIOR, A. O. e CUNHA, S. H. (2009 - 3)**. Cenários de Biocombustíveis. Relatório do PPE/COPPE/UFRJ.
- SCHNEIDER, R. (2009)**. Redução do Desmatamento na Amazônia Brasileira e seus Custos de Oportunidade. Relatório do autor.
- SOARES-FILHO B.S., NEPSTAD, D.C., CURRAN, L.M., CERQUEIRA, G.C., GARCIA, R.A., RAMOS, C.A., VOLL, E., MCDONALD, A., LEFEBVRE, P. e SCHLESINGER, P. (2006)**. Modeling Conservation in the Amazon Basin. Nature, 440. 520-523.
- STRASSBURG B. B. N. (2009 - 1)** Sumária Avaliação Econômica dos Impactos das Mudanças Climáticas sobre Biomas Brasileiros. Relatório do autor.
- STRASSBURG, B.B.N. (2009 - 2)**. Os Determinantes Agrícolas e o Retorno Econômico do Desmatamento na Amazônia Brasileira entre 1997-2006 e 2010-2050. Relatório do autor.
- U.S. FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY (2007)**. Procedure Memorandum No. 37 - Protocol for Atlantic and Gulf Coast Coastal Flood Insurance Studies in FY05.

## Créditos

### **Edição e Revisão**

Sergio Margulis, Carolina Burle Schmidt  
Dubeux e Marcelo Leite

### **Arte**

**Projeto Gráfico e Edição de Arte:** Dora Dias  
[www.vendoeditorial.com.br](http://www.vendoeditorial.com.br)

**Infográficos:** Alberto Cairo

**Fotos:** Shutterstock e Nilo D'Ávila

### **Impressão**

IBEP Gráfica

### **Tiragem**

4 mil exemplares

### **Apoio**

Embaixada do Reino Unido





**Fontes Mistas**  
Grupo de produtos proveniente de  
florestas bem manejadas e fontes  
controladas.

Cert no. SW-COC-02641  
[www.fsc.org](http://www.fsc.org)  
© 1996 Forest Stewardship Council

Conscientes das questões ambientais e sociais utilizamos papéis com certificação FSC (Forest Stewardship Council) na impressão deste material. A certificação FSC garante que a matéria-prima florestal provém de um manejo considerado social, ambiental e economicamente adequado e de outras fontes controladas.

**Impresso na IBEP Gráfica Ltda. - certificada na cadeia de custódia - FSC.**