

# BAHIA ANÁLISE & DADOS

SALVADOR • v.21 • n.4 • OUT./DEZ. 2011

ISSN 0103 8117

## MUDANÇAS CLIMÁTICAS





# BAHIA ANÁLISE & DADOS

ISSN 0103 8117

Bahia anál. dados

Salvador

v. 21

n. 4

p. 733-932

out./dez. 2011

Foto: John Topato / Flickr

**Governo do Estado da Bahia**  
Jaques Wagner

**Secretaria do Planejamento (Seplan)**  
Zezéu Ribeiro

**Superintendência de Estudos Econômicos  
e Sociais da Bahia (SEI)**  
José Geraldo dos Reis Santos

**Diretoria de Informações Geoambientais (Digeo)**  
Antonio José Cunha Carvalho de Freitas

BAHIA ANÁLISE & DADOS é uma publicação trimestral da SEI, autarquia vinculada à Secretaria do Planejamento. Divulga a produção regular dos técnicos da SEI e de colaboradores externos. Disponível para consultas e download no site <http://www.sei.ba.gov.br>. As opiniões emitidas nos textos assinados são de total responsabilidade dos autores. Esta publicação está indexada no *Ulrich's International Periodicals Directory* e na *Library of Congress* e no sistema *Qualis* da Capes.

#### **Conselho Editorial**

Ângela Maria Carvalho Borges, Ângela Maria de Almeida Franco, Ardemirio de Barros Silva, Asher Kiperstok, Carlota de Sousa Gottschall Silva, Carmen Fontes de Souza Teixeira, Cesar Vaz de Carvalho Junior, Edgard Porto Ramos, Edmundo Sá Barreto Figueirôa, Eduardo Luiz Gonçalves Rios Neto, Eduardo Pereira Nunes, Elsa Sousa Kraychete, Guaraci Adeodato Alves de Souza, Inaiá Maria Moreira de Carvalho, José Eli da Veiga, José Ribeiro Soares Guimarães, Laumar Neves de Souza, Lino Mosquera Navarro, Luiz Antônio Pinto de Oliveira, Luiz Mário Ribeiro Vieira, Luiz Antonio Mattos Filgueiras, Moema José de Carvalho Augusto, Mônica de Moura Pires, Nádia Hage Fialho, Nadya Araújo Guimarães, Oswaldo Ferreira Guerra, Renato Leone Miranda Léda, Ricardo Abramovay, Rita Maria Cruz Pimentel, Teresa Lucia Muricy de Abreu, Vítor de Athayde Couto

#### **Conselho Temático**

Asher Kiperstok (UFBA)  
Sylvio Bandeira de Mello e Silva (UCSal)

#### **Editoria**

Urandi Roberto Paiva Freitas

#### **Coordenação Editorial**

Antonio Cunha  
Rita Pimentel  
Aline Rocha

#### **Coordenação de Biblioteca e Documentação (Cobi)**

Raimundo Pereira Santos

#### **Normalização**

Eliana Marta Gomes da Silva Sousa  
Raimundo Pereira Santos

#### **Coordenação de Disseminação de Informações (Codin)**

Ana Paula Porto

#### **Editoria-geral**

Elisabete Cristina Teixeira Barretto

#### **Padronização e Estilo**

Elisabete Barretto

#### **Revisão de Linguagem**

Calixto Sabatini (port.)  
Vegah Comunicação Internacional (ing.)

#### **Editoria de Arte**

##### **Capa**

Daniel Soto Araújo

##### **Editoração**

Rita de Cássia Assis

##### **Produção**

Érika Rodrigues

---

Bahia Análise & Dados, v. 1 (1991- )  
Salvador: Superintendência de Estudos Econômicos e  
Sociais da Bahia, 2011.  
v.21  
n.4  
Trimestral  
ISSN 0103 8117

CDU 338 (813.8)

---

Impressão: EGBA  
Tiragem: 1.000 exemplares

Av. Luiz Viana Filho, 4ª Av., nº 435, 2º andar – CAB  
CEP: 41.745-002 – Salvador – Bahia  
Tel.: (71) 3115-4822 / Fax: (71) 3116-1781  
[sei@sei.ba.gov.br](mailto:sei@sei.ba.gov.br)  
[www.sei.ba.gov.br](http://www.sei.ba.gov.br)



# SUMÁRIO

Apresentação	737	<b>SEÇÃO 3:</b>	841
Entrevista: Questões ambientais e sociais são inseparáveis e merecem a atenção da sociedade e dos governos <i>Luiz Pinguelli Rosa</i>	739	<b>MUDANÇA CLIMÁTICA, AGRICULTURA BAIANA E SEGURANÇA ALIMENTAR</b>	
		Economia das mudanças climáticas e a agricultura baiana <i>Gustavo Inácio de Moraes</i> <i>Joaquim Bento de Souza Ferreira Filho</i>	843
<b>SEÇÃO 1:</b>	747	<b>SEÇÃO 4:</b>	857
<b>MUDANÇA CLIMÁTICA E MARCOS REGULATÓRIOS NACIONAIS E INTERNACIONAIS</b>		<b>MUDANÇA CLIMÁTICA E MATRIZ ENERGÉTICA NA BAHIA</b>	
Primeiro Inventário de Emissões de Gases do Efeito Estufa: síntese dos resultados nos setores energia e processos industriais e usos de produtos <i>Oswaldo Lívio Soliano Pereira</i> <i>Maria das Graças Pimentel de Figueiredo</i> <i>Tereza Mousinho Reis</i>	749	Dimensões sociais e ambientais do uso de culturas energéticas para biodiesel no Território Irecê <i>Juliano da Silva Lopes</i> <i>Telma Côrtes Quadros de Andrade</i> <i>Luiz Antônio Magalhães Pontes</i>	859
Participação da Bahia no mercado de carbono: uma análise das vertentes regulada e voluntária <i>Danielle Soares Paiva</i> <i>Antônio Costa Silva Júnior</i> <i>André Luis Rocha de Souza</i>	769	Mitigação por microalgas do CO <sub>2</sub> gerado em termelétricas: uma revisão da capacidade de biofixação e formação de biomassa e óleo para biocombustíveis <i>Iracema Andrade Nascimento</i>	877
O papel dos programas ambientais voluntários nas políticas de redução dos gases do efeito estufa nos países em desenvolvimento: perspectivas do Brasil, Índia e Vietnã <i>Roberto Rivas Hermann</i>	787	<b>SEÇÃO 5:</b>	895
<b>SEÇÃO 2:</b>	805	<b>MUDANÇA CLIMÁTICA E MEIO AMBIENTE URBANO</b>	
<b>MUDANÇA CLIMÁTICA E CENÁRIOS PARA O ESTADO DA BAHIA</b>		Estudo internacional de temperatura, calor e mortalidade urbana: o projeto Isothurm <i>Maurício Lima Barreto</i>	897
Impacto das mudanças climáticas nas vazões dos rios Pojuca, Paraguaçu e Grande – cenários de 2070 a 2100 <i>Fernando Genz</i> <i>Clemente Augusto Souza Tanajura</i> <i>Heráclio Alves Araújo</i>	807	<b>SEÇÃO 6:</b>	913
A sustentabilidade hídrica de sistemas de abastecimento de água frente às mudanças climáticas <i>Samara Fernanda da Silva</i> <i>Lafayette Luz</i> <i>Fernando Genz</i>	825	<b>MUDANÇA CLIMÁTICA, ERRADICAÇÃO DA POBREZA E REDUÇÃO DAS DESIGUALDADES SOCIAIS</b>	
		Potencial das tecnologias sociais para o enfrentamento das mudanças climáticas e para a promoção do desenvolvimento humano: um olhar sobre o semiárido baiano <i>Andréa Cardoso Ventura</i> <i>Luz Fernandez</i> <i>Rebeca Trujillo</i>	915



# APRESENTAÇÃO

A discussão acerca do aquecimento global entrou definitivamente na agenda contemporânea. A preocupação com a sustentabilidade da vida no planeta surgida nos anos 70 introduziu vertentes novas na discussão do desenvolvimento econômico, como, por exemplo, a necessária consideração de sua dimensão socioambiental e o legado para as gerações futuras.

Agregaram-se mais conhecimento e ângulos de interpretação da interação da humanidade com o seu ambiente, com o suporte cada vez mais importante de novas tecnologias de informação e comunicação. As possibilidades de tratamento de grandes conjuntos de dados se multiplicaram e têm colocado nas mãos de novos atores políticos outras ferramentas de raciocínio e de pressão política, criando um novo leque de articulações sociais e culturais.

As responsabilidades sociais ganharam uma nova configuração e um outro papel ao se estabelecer a necessária implicação de todos os habitantes do planeta como condição fundamental para se alterar os termos da equação entre crescimento econômico e preservação ambiental. Há uma mudança cultural em gestação, que questiona velhos hábitos e coloca a necessidade de processos de reeducação social e ambiental. Busca-se administrar a distribuição mais equitativa de recursos finitos e escassos, engajando todos como responsáveis cada vez mais inteligentes pela preservação e melhoria das nossas condições de vida.

Diante disso, a Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia (SEI) – que no primeiro número desta revista, em 1991, enfocou o meio ambiente, retornando ao assunto em outras edições e publicações – retoma o tema ambiental, desta vez tratando da necessidade de considerar os efeitos da mudança do clima no planejamento do nosso desenvolvimento. A intenção é contribuir com a discussão contemporânea sobre desenvolvimento sustentável, no quadro das atuais convenções internacionais e articulações culturais e institucionais, colaborando para colocar o debate local em novo patamar, condizente com esse ambiente mais amplo.

Buscou-se registrar o estágio do debate entre nós e a importância da participação de pesquisadores de universidades locais em redes mundiais de pesquisa, alertando para as novas interpretações e colocando à disposição do poder público importantes sugestões de redesenho de políticas públicas.

O governo da Bahia já deu importantes passos no tratamento da questão da mudança climática ao instituir, em 2005, o Fórum Baiano de Mudanças Climáticas e aprovar, em janeiro de 2011, a Lei Estadual de Mudanças Climáticas, criando uma agenda local para a mobilização da sociedade em torno do assunto.

A SEI espera trazer a sua parcela de contribuição com esse esforço, desejando a todos uma boa leitura e, sobretudo, novas reflexões acerca do tema.





# Questões ambientais e sociais são inseparáveis e merecem a atenção da sociedade e dos governos

## ENTREVISTA COM LUIZ PINGUELLI ROSA



*Secretário executivo do Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas e integrante do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC/ONU), o professor Luiz Pinguelli Rosa é uma das maiores autoridades do país no campo da energia, tendo se destacado, nas últimas décadas, tanto no Brasil como no exterior. Atualmente com 64 anos, o professor nasceu no Rio de Janeiro, é bacharel em Física pela PUC/RJ, mestre em Engenharia Nuclear pela COPPE/UFRJ e doutor em Física pela PUC/RJ. Professor titular da UFRJ, ele coordena o Programa de Planejamento Energético da COPPE, tendo sido diretor da instituição entre 1986 e 2002, quando assumiu a presidência da Eletrobras, onde permaneceu até 2004. Pinguelli Rosa já presidiu a Sociedade Brasileira de Física e a Associação Latino-americana de Planejamento Energético, além de ter sido membro da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC) e do Conselho Pugwash, associação fundada por Albert Einstein e Bertrand Russel, premiada com o Nobel da Paz em 1995. Membro da Academia Brasileira de Ciências desde 2003, o professor foi agraciado com o Forum Award da Sociedade Americana de Física, em 1992. Também foi contemplado com o grau de Chevalier de L'Ordre des Palmes Académiques, concedido, em 1998, pelo Ministério da Educação da França. Recebeu ainda o Prêmio Golfinho de Ouro, categoria Ciências, concedido no ano 2000 pelo Conselho Estadual de Cultura do Governo do Estado do Rio de Janeiro, e as medalhas da Ordem do Mérito do Ministério das Relações Exteriores e do Ministério da Defesa, em 2003. Nesta entrevista, o professor Pinguelli Rosa falou sobre as principais questões da agenda nacional e internacional ligada ao tema das mudanças climáticas.*

**BA&D** – *Na sua opinião, existe uma tendência à redução da crise ambiental global à problemática da mudança do clima? Este foco único não impediria a exploração de múltiplas formas de busca do balanço zero no lançamento de carbono?*

**Luiz Pinguelli Rosa** – Eu acho que uma coisa não exclui a outra e nem tudo se reduz à mudança climática. A questão da pobreza no mundo é muito dramática, inclusive no Brasil. Então, eu não vejo nem sequer a questão ambiental separada da questão da pobreza e muito menos a questão climática separada das outras questões ambientais. Isso tudo tem que merecer atenção dos governos, da sociedade. Agora, a questão do clima tem lá suas especificidades, tem lá os seus tempos, a sua gravidade, não é pouca coisa. Ela merece muita atenção, mas não deve excluir outras atenções. Num Estado nacional, a questão da saúde, da educação é tão importante quanto a questão do tempo.

**BA&D** – *Já temos tecnologia disponível para que o cultivo de microalgas se torne uma alternativa sustentável para a fixação de carbono e a produção de biocombustíveis? Essa alternativa seria mais eficaz em relação ao plantio de oleaginosas, que tem menor produtividade e impactos sobre o uso do solo?*

**LPR** – Existe tecnologia em desenvolvimento. A tecnologia muitas vezes é apresentada de

uma forma milagrosa, salvadora de tudo. Eu acho que, em geral, não é assim. Em alguns casos, pode ocorrer. Há grandes saltos

### **Não vejo nem sequer a questão ambiental separada da questão da pobreza e muito menos a questão climática separada das outras questões ambientais**

tecnológicos. A descoberta da penicilina, do antibiótico, da vacina contra a poliomielite. E em outros campos, na física, como a teoria da relatividade, de Einstein, e as reações nucleares, que, infelizmente, levaram à bomba nuclear. Hoje em dia, isso está ocorrendo mais na área da biotecnologia, da engenharia genética, do que em outras áreas, mas nas telecomunicações nós assistimos a um avanço enorme. A questão das algas se coloca nesse quadro. Ela é uma tecnologia, ela tem um desenvolvimento e poderá ser usada, na minha opinião, mas ainda é um desenvolvimento.

**BA&D** – *Como pode ser vista a instalação de usinas nucleares no semiárido nordestino no cenário da mudança climática, considerando a importante perda de água por evaporação no resfriamento de reatores? Para nós, a energia nuclear ainda é uma alternativa a que temos de apelar em médio prazo, enquanto não aumentamos nossas capacidades em energias renováveis?*

**LPR** – Não, eu acho que não. Não vejo nenhuma necessidade

do nuclear em médio ou curto prazo. Eu não vou dizer que não seja necessário num longo prazo. Em outros países, tem outras situações diferentes da nossa. No caso brasileiro, ainda há outras maneiras de se fazer eletricidade. Angra 3 está em construção. Ela é muito cara, a meu ver, o quilowatt nuclear está saindo muito caro no Brasil em relação às outras opções, considerando o investimento puro e simples em um quilowatt, a energia. Está se fazendo a Usina de Belo Monte, essa discussão enorme em andamento. Ela vai custar aproximadamente US\$ 1 mil por quilowatt. Se você pegar Angra 3, ele vai custar mais de US\$ 4 mil por quilowatt. Então, é muito caro. Agora, Angra 3 está em construção, não vamos mais discuti-lo. Agora, mais reatores hoje, no Brasil, eu acho que não devem ser feitos. Deve-se aguardar o desfecho das mudanças que deverão ocorrer após Fukushima na área nuclear. Como aconteceu após Three Mile Island, nos Estados Unidos, após Chernobil, na antiga União Soviética. Eu acho que, após Fukushima, também vai haver mudanças tecnológicas, e eu acho que não há pressa para o Brasil decidir fazer usinas no Nordeste no momento.

**BA&D** – *O senhor acha, então, que a questão da matriz energética na Europa, a redução significativa do uso da energia nuclear na Europa é uma tendência que se confirmará?*

**LPR** – Não, eu não sei o que vai acontecer. O futuro é muito complicado porque a tecnologia também evolui. Na Europa, há um reator avançado em construção na Finlândia, com problemas de atrasos enormes e de escalada de custo. Ele usa uma tecnologia europeia desenvolvida principalmente pela França, com apoio da Alemanha, será um reator europeu. Há um plano de um reator a mais na França no momento, mas num outro estágio. Não há outros reatores além desse em construção na Europa ocidental. Nos Estados Unidos existem muitos planos, mas nenhum reator em construção no momento. Há muitos anos não tem, porque lá ocorreu aquele acidente de Three Mile Island e, desde então, não se iniciaram novas obras, embora continuassem muitas antigas, que estavam em andamento naquele tempo. Onde têm sido feitos mais reatores no mundo é no Japão – suspensos agora –, na China e na Coreia do Sul. Depois, em escala muito menor, na Índia. Mas em escala maior são esses três países: China, Japão e Coreia do Sul, sendo que no Japão houve interrupção.

**BA&D** – *Há expectativa de que as condições de aridez sejam agravadas à medida que as temperaturas médias globais aumentem ao longo do século XXI, com queda da precipitação*

*ou concentração de chuvas em poucos momentos. Visto que entre as populações mais suscetíveis às mudanças climáticas*

**A situação da Amazônia é grave, é delicada a manutenção da floresta, mas a população é muito menor do que no Nordeste, onde a questão da desertificação, se acontecer, vai ser muito grave**

*cas estão aquelas associadas à agricultura familiar ou à de subsistência, como está no Brasil a pesquisa no sentido da adequação da produção do semiárido a essa situação?*

**LPR** – Eu acho que o semiárido seria muito atingido. A gente tem que esperar, em primeiro lugar, que se limite o aumento da temperatura global. Infelizmente, nada indica que isso ocorra, aquele limite de 2º C até o fim do século XXI. Se não acontecer isso, é preciso medidas de adaptação muito rigorosas, pensar no semiárido brasileiro como se pensa em Israel, na produção agrícola deles, enfim, em muito esforço para manter a atividade econômica. O Nordeste tem uma população muito significativa. A situação da Amazônia é grave, é delicada a manutenção da floresta, mas a população é muito menor do que no Nordeste, onde a questão da desertificação, se acontecer, vai ser muito grave.

**BA&D** – *A gente conhece iniciativas como a da Embrapa*

*Semiárido. O senhor tem alguma notícia disso?*

**LPR** – Não, eu não tenho, não é minha especialidade. Nós discutimos no Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas. Estamos preocupados, por exemplo, com a questão das florestas por causa das emissões de gases, em particular, com a mudança do Código Florestal, em discussão no Congresso. Mas eu não sou um especialista no assunto para poder opinar com maior profundidade nas questões relativas a isso.

**BA&D** – *Discute-se que o semiárido não teria insumos necessários para o desenvolvimento agrícola, como solo e água, e que estaria na hora de se pensar em alternativas econômicas outras, mais eficazes em termos de geração de renda para a região diante desse cenário. O que o senhor acha disso?*

**LPR** – Eu acho que sim, certamente. Agora, não se pode abandonar a necessidade da produção agrícola, em primeiro lugar para a manutenção das populações, o abastecimento alimentar da população. É preciso também ter soluções para a produção agrícola. Não para exportação, necessariamente, mas para a região. E também outros modos de ganhar a vida, mais na área da produção não agrícola. Acho que é preciso tratar das duas coisas.

**BA&D** – *Pesquisas comprovam a redução da pluviosidade como uma tendência da*

*mudança climática e a consequente diminuição da vazão dos cursos d'água. Há projeções de que poderemos ter menos de 20% da água disponível nos mananciais de superfície de 2070/2100, além de previsões de redução do aquífero. Nessas condições, já é necessário pensar em dessalinizar a água salgada, como muitos países fazem, chegando-se a proporções de 30% de água dessalinizada na oferta total?*

**LPR** – É. Nós temos aí no Ceará, que deve iniciar a operação no início do ano próximo, uma usina de geração elétrica usando ondas do mar. E é possível usar essa mesma tecnologia para dessalinizar a água. Essa usina está em finalização no momento, no Porto do Pecém, próximo de Fortaleza. Agora, eu acho que a questão da água tem múltiplas soluções. A dessalinização de água do mar é a mais drástica, talvez. O mar é uma enorme fonte de água, mas o processo de dessalinização tem um custo. Naturalmente, é possível fazê-lo.

**BA&D** – *Com base nos dados do IPCC de elevação da temperatura no horizonte de 2050, sem considerar o desmatamento, as consequências do nível de emissões de carbono sobre a floresta amazônica não deixam mais dúvidas quanto à sua savanização?*

**LPR** – Não deixam mais dúvidas, na ciência, é difícil de se falar. A ciência sempre tem

dúvida. A ciência séria sempre tem dúvida. Existe, às vezes, uma ciência propagada que não é muito séria. Mas eu acho que

**Se não houver a redução das emissões [de carbono] no mundo, nada adiantará evitar o desmatamento, porque virá o fim da floresta pelas condições atmosféricas desfavoráveis a ela**

a gente tem que prestar atenção nas possibilidades. É claro que, se não houver a redução das emissões no mundo, nada adiantará evitar o desmatamento, porque virá o fim da floresta pelas condições atmosféricas desfavoráveis a ela. Então, é verdade. Nós temos um risco de savanização, de perda da floresta em grande parte, de redução da massa de biomassa presente. Isso tudo é muito ruim, e a biodiversidade indo junto.

**BA&D** – *Se a Amazônia sucumbe, as consequências são drásticas sobre o clima no território nacional como um todo, com diminuição de chuva no cerrado, aumento na aridez...*

**LPR** – É claro. A Amazônia tem um papel até no mundo, não só no Brasil. As trocas de água e energia com a atmosfera são fundamentais. Se você deixa sucumbir a Amazônia, o clima mundial muda gravemente.

**BA&D** – *O quadro de expansão da urbanização, com o aumento dos riscos de enchentes, inundações e deslizamentos,*

*potencializados pela elevação da temperatura, é preocupante. Quais as perspectivas de estabelecimento de mecanismos de regulação sobre a construção civil e de alteração do atual padrão de uso e ocupação do solo ou dos modos de vida urbana, no sentido da economia de energia e de recursos e do enfrentamento de eventos climáticos extremos?*

**LPR** – Eu acho que há um lado da urbanização inevitável. Nós não podemos eliminá-lo porque existe a população mundial que ainda cresce. Hoje, no Brasil, muito menos do que no passado. O crescimento demográfico reduziu-se muito, e o Brasil não tem tanta pressão no sentido de que a densidade demográfica é baixíssima em alguns lugares, mas ainda assim, em certas regiões, incluindo o Nordeste e o Sudeste, há uma concentração populacional considerável, e a tendência de urbanização é muito forte. As pessoas procuram a cidade para ter, inclusive, cidadania. A cidade é o local onde às vezes se consegue trabalho, educação. É uma tendência mundial, a urbanização. O que tem que se pensar é em alternativas de urbanização que não conduzam a coisas tão terríveis como as favelas do Rio de Janeiro, que estão em moda. A questão da Rocinha, que sai muito no jornal, que é uma aglomeração muito forte, sem condições mínimas de convivência, e que é preciso ter soluções, de

serviço público, de assistência, de escoamento, vias. Eu acho que a questão da urbanização é uma questão importantíssima e que tem que se dar soluções a ela. Não é possível evitar a urbanização, na medida em que a população cresce.

**BA&D** – *Fenômenos como os que aconteceram em Petrópolis no ano passado e que acontecem recorrentemente em Santa Catarina, essas coisas têm já uma relação direta com a mudança climática?*

**LPR** – Podem ter. Há tendências de eventos mais graves do que a média do passado. Agora, como o clima varia muito, é difícil você atribuir tal evento à mudança climática ou à variabilidade do clima, que é inevitável também. Seja como for, isto é o que ocorrerá mais, se houver mudança climática muito intensa, mais desastres como esses de Petrópolis, de Friburgo, de Teresópolis, da região serrana do Rio, ou da área de Paraty, de Angra dos Reis, no sul fluminense, ou de Santa Catarina, ou das enchentes de São Paulo. Seja lá o que for, é preciso ter mais preparo para atender a essas emergências e pensar em proteger as populações de locais de grande risco, não morar em locais muito perigosos, ter alternativas de moradia. Muitas vezes, são os mais pobres que não têm onde ficar e acabam usando essas áreas muito inclinadas, nas encostas, que sofrem esse risco

tão grande de desabamento que você está citando.

**BA&D** – *Pode-se afirmar que, apesar de o Brasil ter des-*

**Há tendências de eventos mais graves do que a média do passado. Agora, como o clima varia muito, é difícil você atribuir tal evento à mudança climática ou à variabilidade do clima, que é inevitável também**

*taque, entre os países emergentes, na implementação de políticas climáticas, a questão ainda não foi internalizada pelo planejamento governamental para definições de política e regulação? Quais são as perspectivas de evolução das políticas climáticas no Brasil e quais as principais dificuldades, tanto no âmbito governamental como empresarial e na sociedade em geral, considerando que a política ambiental ainda é um fenômeno relativamente recente?*

**LPR** – Existem vários grupos de trabalho formados pelo governo, desde ainda o período do presidente Lula, que seguem os chamados planos de ações setoriais, que compõem o Plano Nacional de Mudança Climática, que foi inclusive aprovado no Congresso e tem uma relação com os compromissos que o Brasil assumiu em Copenhague, de redução das emissões, sendo que a maior componente é a redução do desmatamento, reinando uma grande interrogação

sobre o que está acontecendo este ano, se vai haver a redução do desmatamento. E para alguns, essa questão do Código Florestal está apontando em sentido inverso, de relaxamento das restrições ao desmatamento, que vinham se apertando nos últimos anos. Há dúvida sobre o que vai acontecer.

**BA&D** – *Então, o senhor considera que há uma boa perspectiva?*

**LPR** – Existem planos de governo, sim. Se vão ser implementados, se não vão, é outra história. Mas estão vários órgãos de governo debruçados nessa questão dos planos de redução de emissões de gases do efeito estufa.

**BA&D** – *E em relação ao setor empresarial? Essas políticas estão indo no sentido de dar uma segurança ao setor empresarial de como ele vai ter que se comportar?*

**LPR** – Inclui isso. Mas a grande componente de redução de emissões, que foi apresentada em Copenhague, é de redução de desmatamento. Mas de qualquer modo, esses planos de ações setoriais envolvem a área de energia, a área industrial, a área de transporte.

**BA&D** – *O senhor tem alguma notícia da implementação dessas políticas na Bahia? O senhor esteve recentemente aqui para um seminário sobre energia nuclear.*

**LPR** – Não, eu não sei exatamente. Há o Fórum Baiano de Mudança Climática, que estava muito ativo até pouco tempo, mas eu não estou acompanhando no momento o caso da Bahia para poder opinar. Até pouco tempo atrás, estava muito ativa a discussão do clima no fórum de mudança climática da Bahia.

**BA&D** – *Este ano, a gente aprovou a lei estadual de mudança climática, em janeiro de 2011. O senhor não tem muita notícia sobre isso, não é? Um balanço geral dos estados...*

**LPR** – Não, eu não tenho em detalhe, embora eu saiba que, em São Paulo, tem uma iniciativa desse tipo. Enfim, alguns estados mais, outros menos. Agora, o que há é um plano nacional. Esse plano nacional abrange o território total.

**BA&D** – *Considerando as resistências à limitação de emissões de GEE por parte de países como os EUA e a China, agravadas pelas dificuldades de retomada do crescimento no pós-crise, como fica a questão da coleta, entre os países ricos, dos recursos para financiar a adaptação de países pobres à economia de baixo carbono? Alguns países ricos que competem com os emergentes no comércio internacional podem não ter interesse em financiar seus concorrentes?*

**LPR** – Em geral, país rico não ajuda em nada a país pobre, a não ser quando é pobre demais,

aqueles países que estão em fome gravíssima, esses momentos de grandes emergências. Fora isso, não. O país rico faz

**Em geral, país rico não ajuda em nada a país pobre, a não ser quando é pobre demais, aqueles países que estão em fome gravíssima, esses momentos de grandes emergências**

mais é tirar o dinheiro dos países pobres. Eles são especializados nisso, as grandes empresas, o sistema financeiro mundial, enfim, não acredito em conto da carochinha. Tanto China como Estados Unidos são grandes emissores. Os dois são os maiores do mundo. Há uma diferença enorme. Os Estados Unidos têm uma população muito menor do que a China. A China tem um bilhão e duzentos milhões de habitantes, e o per capita da China é várias vezes menor do que o dos americanos. Não se pode comparar a situação dos Estados Unidos com a da China. Os Estados Unidos é um país rico, é um país líder no mundo, continua nessa posição, em vários campos, e a China é um país heterogêneo, uma parte em grande desenvolvimento e ainda uma grande parcela da população muito pobre. Então, não se pode tratá-los igualmente, porque são desiguais os dois países.

**BA&D** – *E do ponto de vista dessas negociações? Houve até uma meta de arrecadação de US\$*

*100 bilhões anuais, para financiamento da adaptação dos países emergentes à mudança do clima.*

**LPR** – Sempre tem, sempre tem. Em reuniões internacionais, esses números são colocados, mas quase nunca são concretizados depois. Hoje há uma crise financeira no mundo, e o mundo se mobiliza para tirar dinheiro das populações para dar para os banqueiros.

**BA&D** – *É o que a gente está vendo acontecer.*

**LPR** – É o que está acontecendo na Europa claramente. Inclusive, os primeiros-ministros da Itália, da Espanha e da Grécia mudaram agora no bojo desta questão, sendo que, no caso da Grécia e no caso da Itália, os primeiros-ministros que subiram são burocratas da economia, ex-diretores de bancos, enfim, dessa orquestra da grande roubalheira mundial, que é muito pior do que a corrupção dos governos, a corrupção dos bancos.

**BA&D** – *Quer dizer então que na área dessas metas, de criação de fundos...*

**LPR** – É meio conversa fiada, na minha opinião.

**BA&D** – *Com relação à perspectiva da Rio +20, em junho de 2012. Considerando as resistências à prorrogação dos compromissos quantitativos e vinculantes de Kyoto e com relação a essa perspectiva da conferência, de se discutir o desenvolvimento sustentável, a economia*

*inclusiva, verde e responsável, em confronto com o crescimento, como é que fica isso, como o senhor vê a evolução das negociações internacionais agora, nesse final de ano, com vistas à Rio +20? O senhor está otimista?*

**LPR** – Eu acho que a Rio +20, aquele documento do Itamaraty, fruto de uma comissão, inclusive com participação de várias ONGs, é extremamente fraco. Ele é um rol de roupas que tem 25 pontos misturando alhos com bugalhos, tudo no mesmo nível. E lá dentro está o clima, eu acho que é o 19º ou 17º ponto, sem nenhuma ênfase. Eu acho que o Brasil está perdendo uma importante oportunidade de, na Rio +20, destacar a sua importância, que houve em 92, quando saiu a convenção, durante uma crise no Brasil, que era a crise do governo Collor, mas, apesar disso, o papel da diplomacia brasileira foi essencial para o princípio da responsabilidade comum, porém diferenciada, aprovada na Rio 92. Como também foi muito importante em Kyoto, quando levou o princípio de responsabilidade histórica e o modelo matemático de suporte disso, levando no

final à decisão do mecanismo de desenvolvimento limpo, que eu considero insuficiente, completamente insuficiente, mas, de qualquer modo, naquele momento, foi um avanço que veio de uma ação brasileira. E finalmente, como você citou, em Copenhague, quando o presidente Lula teve uma influência enorme apresentando as metas de redução brasileiras. E agora, na Rio +20, parece que o Brasil não tem o que dizer. Isso é lamentável.

**BA&D** – *Não tem nenhuma forma de reverter isso?*

**LPR** – Eu estou pretendendo convencer o governo a dar prioridade ao clima. Aliás, eu falei errado. O Brasil tem o que dizer, mas parece que não quer enfatizar o assunto clima. Essa é a questão. Eu acho que esses planos de ação de que estávamos falando, a redução do desmatamento, que, bem ou mal, ocorreu nos últimos anos, embora não se saiba bem este ano, e tem o aspecto negativo do Código Florestal aprovado na Câmara e que foi muito ruim, mas que pode ser revertido no Senado. Eu acho que o Brasil deveria ser mais proativo na questão da discussão climática na Rio

+20, ao contrário do que está no tal documento que citei.

**BA&D** – *Com relação à questão da Rio +20, apesar dessa perspectiva negativa pelo que se vê colocado na documentação que foi enviada pelo governo brasileiro, na última reunião da presidente Dilma Rousseff na Europa, não existe uma perspectiva positiva de mudança desse quadro? O que os cientistas brasileiros pretendem fazer para que isso se reverta de uma forma positiva?*

**LPR** – Eu não falo pelos cientistas brasileiros porque eu não os represento. O Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas, do qual eu participo, secretário, ele pretende levar essa preocupação à própria presidente da República ainda agora, anteriormente à conferência do clima da África do Sul. Minha opinião particular é que seja mais enfatizada a questão climática na conferência Rio +20. Essa é a minha posição.

**BA&D** – *Então o senhor acredita que ainda tem tempo de recuperar?*

**LPR** – A gente tem sempre que acreditar em tudo até o último momento. A vida é assim.







**Seção 1:**  
**Mudança climática e**  
**marcos regulatórios**  
**nacionais e**  
**internacionais**



# Primeiro Inventário de Emissões de Gases do Efeito Estufa: síntese dos resultados nos setores energia e processos industriais e usos de produtos

*Oswaldo Lívio Soliano Pereira\**

*Maria das Graças Pimentel de Figueiredo\*\**

*Tereza Mousinho Reis\*\*\**

\* Doutor em Política Energética pelo Imperial College of Science, Technology and Medicine, Inglaterra; especializado em Engenharia Elétrica pela École Supérieure d'Électricité (Supélec), França; graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Professor do Mestrado de Regulação da Indústria de Energia da Universidade Salvador (Unifacs) e diretor do Centro Brasileiro de Energia e Mudança do Clima (CBEM). osoliano@unifacs.br

\*\* Mestre em Regulação da Indústria de Energia pela Universidade Salvador (Unifacs); graduada em Ciências Econômicas pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Pesquisadora do Grupo de Pesquisa Meio Ambiente, Universalização, Desenvolvimento Sustentável e Energias Renováveis (G-MUDE/Unifacs) e diretora do Centro Brasileiro de Energia e Mudança do Clima (CBEM). maria.figueiredo@unifacs.edu.br

\*\*\* Doutora em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo (USP); mestre em Regulação da Indústria de Energia pela Universidade Salvador (Unifacs); graduada e pós-graduada em Ciências Econômicas pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Professora da Unifacs e diretora do Centro Brasileiro de Energia e Mudança do Clima (CBEM). terezareis@terra.com.br

## Resumo

O presente artigo apresenta os resultados do Primeiro Inventário de Emissões de Gases do Efeito Estufa do Estado da Bahia para os setores energia e industrial e uso de produtos, concluído em 2010, estudo que foi elaborado com base na metodologia do Guia do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) 2006 para Inventários Nacionais. No setor energia, cobriu-se o período de 1990 a 2008, baseado em dados do Balanço Energético do Estado da Bahia, sendo que nesse setor o crescimento das emissões foi de 83%, devido ao aumento do consumo dos combustíveis fósseis. Para o setor industrial, com aumento de 10% no período 1998 a 2008, as maiores emissões foram registradas na produção de amônia, ferroligas e derivados de magnésio.

**Palavras-chave:** Indústria. Energia. Inventário. Emissões gases do efeito estufa.

## Abstract

*This article presents the results of the first Greenhouse Gas Inventory of the State of Bahia for the Energy and Industrial Processes and Product Uses (IPPU) sectors. The study was completed in 2010, and was based on the methodology of the 2006 Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. The Energy sector was examined over the period from 1990 to 2008, based on data from the Energy Balance of the State of Bahia. The increase in emissions of this sector was 83%, due to increased consumption of fossil fuels. The Industrial Processes and Product Uses sector presented an increase of 10% in the period 1998 to 2008, with the most significant emissions having been recorded in the production of ammonia, ferroalloys and magnesium derivatives.*

**Keywords:** Industry. Energy. Inventory. Emissions of greenhouse gases.

## INTRODUÇÃO

A elaboração do Primeiro Inventário de Gases do Efeito Estufa do Estado da Bahia tem como base o Guia IPCC 2006 para Inventários Nacionais de GEE (2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories) e está restrita aos setores energia e processos industriais e uso de produtos (IPPU).

O Primeiro Inventário de Emissões de Gases do Efeito Estufa do Setor Industrial da Bahia, concluído em 2010, foi um trabalho desenvolvido para a Secretaria do Meio Ambiente do Estado da Bahia (Sema), com recursos da embaixada britânica, através dos Governos Locais pela Sustentabilidade (Iclei), e constitui um dos instrumentos da Política sobre Mudança do Clima no Estado da Bahia, conforme consta da Lei nº 12.050, de 7 de janeiro de 2011.

A elaboração de inventários estaduais tem caráter voluntário, uma vez que os estados da Federação não estão obrigados a realizá-los. Todavia, um número crescente de estados vem fazendo, como parte dos estudos imprescindíveis aos governos locais comprometidos com políticas públicas de desenvolvimento sustentável.

Para a Bahia constitui um passo importante para os desdobramentos do Plano Estadual de Mudanças Climáticas, considerando que suas informações servirão de base para a formulação de políticas públicas que possibilitem, além das ações de mitigação, providências de longo prazo, tendo em vista avaliar a vulnerabilidade dos ecossistemas e biomas estaduais e promover ações de adaptação à inevitabilidade de alguns impactos, procedimentos estes que irão requerer iniciativas com muito tempo de antecedência.

Adicionalmente, inventários estaduais contribuem para melhorar as informações do Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de

Gases do Efeito Estufa não Controlados pelo Protocolo de Montreal, cuja realização periódica faz parte da Comunicação Nacional à Convenção Quadro da ONU sobre Mudanças do Clima (CQNUMC), da qual o Brasil é signatário e que é obrigatória. O primeiro inventário nacional brasileiro teve como ano base 1994, sendo que o segundo tem como referência o ano de 2005.

Outro compromisso do Brasil na convenção é adotar ações de conscientização da população sobre as causas e consequências do aquecimento global, o que vem sendo feito pelo governo federal com a divulgação de informações sobre esse tema no site do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCT) e a criação do Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas, em 2000. A iniciativa já tem seus desdobramentos na instituição de diversos fóruns estaduais, como é o caso do Fórum Baiano de Mudanças Climáticas Globais e de Biodiversidade, criado pelo Decreto n 9.519, em 18 de agosto de 2005.

Convém registrar que o Brasil, ao contrário dos países mais desenvolvidos, ainda não está obrigado a adotar medidas ou políticas de mitigação, embora tenha compromisso de incluir o tema de mudança de clima no planejamento de longo prazo. Para tanto, a realização deste primeiro inventário para a Bahia constitui um passo importante para os desdobramentos do Plano Estadual de Mudanças Climáticas, considerando que suas informações servirão de base para o estabelecimento de metas para as ações de adaptação e/ou mitigação e para avaliar a vulnerabilidade dos ecossistemas e dos biomas estaduais.

Finalmente, cabe salientar que inventários permitem identificar as possibilidades de redução de emissões que podem resultar em fluxos financeiros para apoiar mudanças tecnológicas e projetos ambientalmente sustentáveis, além de acesso aos mercados de carbono do mecanismo de desenvolvimento limpo.

A elaboração do Primeiro Inventário de Gases do Efeito Estufa do Estado da Bahia tem como base o Guia IPCC 2006 para Inventários Nacionais de GEE (2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gás Inventories) e está restrita aos setores energia e processos industriais e uso de produtos (IPPU). Assim, faz-se necessário, ainda, concluir o inventário das emissões do estado, com a elaboração de estudos similares para os setores agroflorestal e de resíduos.

## EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA DO SETOR ENERGIA NO ESTADO DA BAHIA

### Metodologia

O setor energia foi inventariado de acordo com o nível de desagregação adotado no Balanço Energético da Bahia (BAHIA, 2008, 2009) e cobre as emissões dos subsetores e a estrutura sugerida pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, sigla em inglês) e as emissões decorrentes de processos industriais<sup>1</sup>.

Com vistas a expressar com maior exatidão o calor recuperável de cada combustível, de acordo com a orientação do IPCC, optou-se pelo poder calorífico inferior (PCI), em substituição ao poder calorífico superior (PCS), pois este não leva em consideração o calor absorvido na vaporização da água, inerente ao processo de combustão.

Do ponto de vista metodológico, as emissões dos GEE foram calculadas, seguindo as recomendações encontradas nos documentos elaborados pelo IPCC *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories*, publicado em 1997, e *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*, publicado em 2000, e os relatórios de referência do 1º e do 2º Inventário Nacional

dos Gases de Efeito Estufa pela Queima de Combustíveis Fósseis, elaborados pelos métodos *top down* e *bottom up*, publicados em 2006 e 2009, respectivamente.

Para estimar as emissões das fontes fósseis foi empregada a metodologia *bottom up*<sup>2</sup>, considerando as especificidades do sistema energético da Bahia. A aplicação dessa metodologia permite calcular as emissões de GEE por tipo de combustível e por setor de atividade e contabiliza as emissões fugitivas que ocorrem no setor energético decorrentes da extração do carvão vegetal e da extração e transporte de petróleo e do gás natural, por *venting* e *flaring*, e o carbono estocado na elaboração de produtos não energéticos.

Os GEE cujas emissões e remoções antrópicas estão sendo estimadas no presente inventário são o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), o metano (CH<sub>4</sub>), o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), o hexafluoreto de enxofre (SF<sub>6</sub>) e os NMVOC (outros compostos orgânicos voláteis não metânicos). Quanto aos NMVOC, mesmo não sendo gases de efeito estufa diretos, possuem influência nas reações químicas que ocorrem na atmosfera e, por essa razão, suas emissões antrópicas foram incluídas.

Como determina a Convenção do Clima, o inventário deve incluir apenas as emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa (GEE). Não inclui, portanto, os gases clorofluorcarbonos (CFC) e os hidroclorofluorcarbonos (HCFC), cujas emissões são controladas pelo Protocolo de Montreal. Também não são apresentadas nesse artigo as emissões de CO<sub>2</sub> associadas à parcela não renovável das biomassas que são incluídas no setor Mudança do Uso da Terra e Florestas.

<sup>1</sup> As emissões que ocorreram no setor de mudanças do uso do solo e florestas e no setor de resíduos sólidos urbanos (RSU) ainda não foram contabilizadas e por essa razão não são apresentadas nesse artigo.

<sup>2</sup> Há dois métodos internacionalmente aceitos para estimar as emissões dos GEE: *bottom up* e *top down*. O método *top down*, de cima para baixo, estima as emissões a partir do consumo total de cada combustível fóssil de forma agregada. O método *bottom up*, de baixo para cima, é mais completo porque identifica as emissões por setor de atividade e por tipo de combustível utilizado, incluindo a identificação das emissões fugitivas, conforme acima mencionado. Encontra-se no Anexo B desse artigo uma descrição detalhada do método *bottom up* utilizado.

### Perfil do setor energético na Bahia: síntese da produção e uso das fontes primárias e secundárias de energia

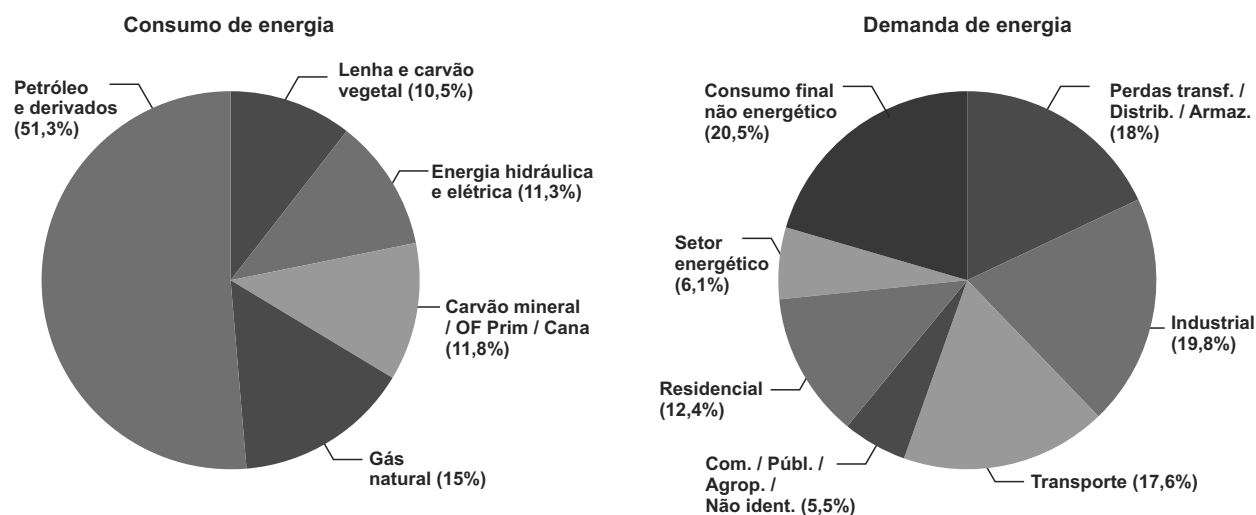
Em 2008 a oferta total de energia no estado da Bahia foi de quase 28 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (tep), sendo que desse total a Oferta Interna Energia (OIE) representou 16,7 milhões tep, dos quais foram efetivamente consumidos 13,7 milhões. Considerando esse consumo final de energia, que inclui a hidroeletricidade, as emissões foram de 28.555 Gg CO<sub>2</sub>eq., sendo que

desse total 28.089 Gg, ou 98,4% correspondem às emissões de CO<sub>2</sub>. Os demais gases foram responsáveis por menos de 2% das emissões dos GEE no estado. A Tabela 1 mostra a evolução do consumo final de energia entre 1992 e 2008, com crescimento de 26%, sendo que desse total o consumo para fins energéticos representou 75%.

A distribuição pelos diversos setores socioeconômicos mostra que o segmento industrial, o de transportes e o residencial são os maiores responsáveis pelo consumo final energético. Esses três segmentos responderam por 81% do consumo

(10 <sup>3</sup> tep)	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Consumo final	10.873	11.591	11.887	11.202	11.907	12.777	12.749	12.850	12.801	12.318	12.501	12.584	12.894	13.601	13.435	14.060	13.722
%	100,0	100,0	100,0	100,0	97,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Consumo final não energético	2.505	2.883	3.089	3.091	3.175	3.867	3.704	3.946	3.737	3.407	3.337	3.429	3.205	3.883	3.651	3.838	3.426
%	23,0	24,9	26,0	27,6	26,7	30,3	29,1	30,7	29,2	27,7	26,7	27,2	24,9	28,5	27,2	27,3	25,0
Consumo final energético	8.368	8.708	8.797	8.111	8.372	8.910	9.045	8.904	9.064	8.911	9.164	9.155	9.689	9.717	9.784	10.222	10.296
%	77,0	75,1	74,0	72,4	70,3	69,7	70,9	69,3	70,8	72,3	73,3	72,8	75,1	71,4	72,8	72,7	75,0

Fonte: Bahia (2009).



**Gráfico 1**  
Matriz energética – Bahia – 2008

Fonte: Bahia (2008).

<b>Tabela 2</b>																	
<b>Consumo final energético segundo os setores – Bahia – 1992-2008</b>																	
<b>Setores</b>	<b>1992</b>	<b>1993</b>	<b>1994</b>	<b>1995</b>	<b>1996</b>	<b>1997</b>	<b>1998</b>	<b>1999</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>
Energético	583	619	508	667	710	711	627	581	577	827	1.018	953	923	1.018	1.025	1.092	1.026
%	7,0	7,1	5,8	8,2	8,1	8,0	6,9	6,5	6,4	9,3	11,1	10,4	9,5	10,5	10,5	10,7	10,0
Residencial	2.660	2.616	2.551	2.239	2.366	2.499	2.599	2.486	2.329	2.141	2.168	2.110	2.125	2.104	2.086	2.081	2.080
%	31,8	30,0	29,0	27,6	27,1	28,1	28,7	27,9	25,7	24,0	23,7	23,0	21,9	21,7	21,3	20,4	20,2
Comercial	95	104	109	118	126	136	149	155	176	155	153	165	173	187	194	209	223
%	1,1	1,2	1,2	1,5	1,4	1,5	1,6	1,7	1,9	1,7	1,7	1,8	1,8	1,9	2,0	2,0	2,2
Público	91	102	108	121	125	129	138	143	148	139	146	159	168	172	174	185	206
%	1,1	1,2	1,2	1,5	1,4	1,4	1,5	1,6	1,6	1,6	1,6	1,7	1,7	1,8	1,8	1,8	2,0
Agropecuário	222	241	235	273	292	316	349	357	370	388	408	403	430	445	431	397	494
%	2,7	2,8	2,7	3,4	3,3	3,5	3,9	4,0	4,1	4,4	4,5	4,4	4,4	4,6	4,4	3,9	4,8
Transporte	1.680	1.763	1.823	1.753	2.019	2.082	2.210	2.209	2.250	2.283	2.327	2.235	2.492	2.476	2.577	2.759	2.951
%	20,1	20,2	20,7	21,6	23,1	23,4	24,4	24,8	24,8	25,6	25,4	24,4	25,7	25,5	26,3	27,0	28,7
Industrial	3.034	3.246	3.457	2.932	3.084	3.027	2.962	2.963	3.201	2.965	2.931	3.114	3.359	3.297	3.278	3.474	3.316
%	36,3	37,3	39,3	36,1	35,3	34,0	32,8	33,3	35,3	33,3	32,0	34,0	34,7	33,9	33,5	34,0	32,2
Cons. não identificado	3	16	5	8	7	9	10	11	12	12	12	16	19	18	19	25	-
%	0,0	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	-
<b>Total</b>	<b>8.368</b>	<b>8.707</b>	<b>8.796</b>	<b>8.111</b>	<b>8.729</b>	<b>8.909</b>	<b>9.044</b>	<b>8.905</b>	<b>9.063</b>	<b>8.910</b>	<b>9.163</b>	<b>9.155</b>	<b>9.689</b>	<b>9.717</b>	<b>9.784</b>	<b>10.222</b>	<b>10.296</b>

Fonte: Bahia (2009).

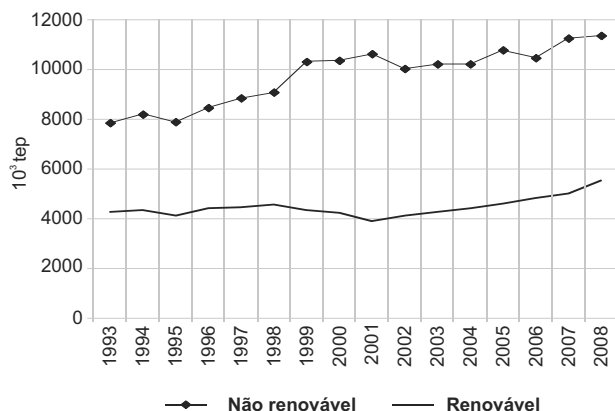
final energético verificado em 2008, contra uma participação de 88% em 1992 e de 86% em 2000. A redução decorreu basicamente da queda registrada no consumo do segmento residencial, de 22%, entre 1992 e 2008, e do crescimento do consumo do setor energético no mesmo período, de 75%. Na Tabela 2 encontram-se os volumes consumidos em termos absolutos e relativos.

Na composição por fontes da matriz energética da Bahia destacam-se o petróleo e derivados e o gás natural como as principais fontes energéticas. Juntos responderam por 66% da Oferta Interna de Energia (OIE), contra 63% em 1992. Entre 1992 e 2008 a oferta de lenha e carvão vegetal sofre queda significativa, da ordem de 30%, reduzindo sua participação na OIE para 11%, contra quase 22% registrado, em 1992. O aumento da oferta hidroelétrica,

produtos da cana e outras fontes primárias, da ordem de 119% entre 1992 e 2008 mais que compensaram as perdas registradas na oferta da lenha e do carvão vegetal, anteriormente mencionada.

Pelo lado da demanda são relevantes e quase equivalentes as participações do consumo final não energético, com 3,4 milhões de tep, representando 20,5% do total demandado, o setor industrial, consumindo 3,3 milhões de tep, equivalentes a 20% do total e as perdas na transformação, distribuição e armazenamento, com 3 milhões de tep, correspondentes a 18% do total demandado em 2008. O Gráfico 1 ilustra a distribuição das principais fontes energéticas e da demanda em 2008 e o Gráfico 2 a evolução da distribuição da OIE entre fontes primárias renováveis e não renováveis, entre 1992 e 2008.

PRIMEIRO INVENTÁRIO DE EMISSÕES DE GASES DO EFEITO ESTUFA: SÍNTESE DOS RESULTADOS NOS SETORES ENERGIA E PROCESSOS INDUSTRIAIS E USOS DE PRODUTOS



**Gráfico 2**  
Oferta Interna de Energia (OIE) – Bahia – 1993-2008

Fonte: Bahia (2009).

A participação da Bahia na produção de energia primária do país apresentou tendência decrescente entre 1992 e 2008. As informações disponíveis no balanço energético do estado da

Bahia mostram que a participação relativa do estado passou de quase 9%, em 1992, para 6,2%, em 2008, conforme mostra a Tabela 3. As fontes não renováveis perderam 3,4% em participação, e as fontes renováveis, 2,7%. Vale destacar que em 2000 essa perda de participação chegou a ser de 6%, voltando a se recuperar em 2007 e 2008.

A produção baiana de petróleo decresceu em relação ao Brasil, caindo de 9,8% em 1992, para 2,3% em 2008. Esse decréscimo, deveu-se “a exaustão natural dos campos da bacia do Recôncavo, e, principalmente, a crescente exploração das reservas de petróleo das bacias de Campos (RJ) e do Rio Grande do Norte” (BAHIA, 2009). A redução da participação relativa se repete para o gás natural (GN) e a hidreletricidade. O GN, cuja participação era de 22,6 % em 1992, cai para 15,6 % em 2008 e a geração hidrelétrica de 9,9 % para 4,9 % em 1992 e 2008, respectivamente.

**Tabela 3**  
Produção de energia primária – Bahia, Brasil – 1992-2008

Ano	Não renovável			Renovável			Total Bahia	Total Brasil	(%)(BA/BR)
	Bahia	Brasil	(%)(BA/BR)	Bahia	Brasil	(%)(BA/BR)			
1992	4.765	41.266	11,5	4.722	67.098	7,0	9.487	108.364	8,8
1993	4.599	42.291	10,9	4.857	67.373	7,2	9.456	109.664	8,6
1994	4.577	44.164	10,4	4.879	70.736	6,9	9.456	114.900	8,2
1995	4.448	45.707	9,7	4.198	69.790	6,0	8.646	115.497	7,5
1996	4.673	51.487	9,1	4.255	71.302	6,0	8.928	122.789	7,3
1997	4.529	55.510	8,2	4.420	74.868	5,9	8.949	130.378	6,9
1998	4.591	63.323	7,3	4.528	74.921	6,0	9.119	138.244	6,6
1999	4.306	70.552	6,1	4.196	75.859	5,5	8.502	146.411	5,8
2000	4.301	79.778	5,4	4.233	73.556	5,8	8.534	153.334	5,6
2001	5.301	83.490	6,3	3.742	72.896	5,1	9.043	156.386	5,8
2002	7.486	95.910	7,8	3.963	78.263	5,1	11.449	174.173	6,6
2003	7.186	97.829	7,3	4.003	86.267	4,6	11.189	184.096	6,1
2004	8.147	99.216	8,2	4.290	91.022	4,7	12.437	190.238	6,5
2005	5.593	105.667	5,3	4.680	94.855	4,9	10.273	200.522	5,1
2006	6.479	111.421	5,8	4.978	100.380	5,0	11.457	211.801	5,4
2007	8.458	114.761	7,4	5.212	108.918	4,8	13.670	223.679	6,1
2008	9.501	117.710	8,1	4.913	113.020	4,3	14.414	230.730	6,2

Fonte: Bahia (2009).



**Tabela 4**  
**Emissões totais de GEE – Bahia – 1990-1999**

Setores	(Gg CO <sub>2</sub> eq.)									
	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Energia	15.585	16.071	16.829	17.471	18.410	17.432	19.016	19.671	19.563	21.939
Energético amplo	1.940	2.423	2.059	2.387	2.066	3.299	3.561	3.647	3.316	3.615
Industrial	5.743	5.686	6.158	6.557	6.982	5.467	5.818	5.633	5.436	5.363
Transporte	4.682	4.886	4.748	5.026	5.195	4.935	5.780	6.065	6.541	6.577
Residencial	890	1.042	1.079	1.123	1.092	975	993	1.002	994	1.034
Comercial	3	3	12	20	17	10	10	10	10	12
Agropecuário	254	261	293	325	287	390	422	486	531	551
Público (1)	14	21	12	14	20	47	43	44	43	47
Consumo não energético	1.124	1.025	1.471	1.811	2.055	2.108	2.157	2.615	2.551	2.708
Perdas no <i>downstream</i>	3	6	19	9	3	0	0	0	0	0
Perdas no <i>upstream</i>	933	717	979	199	693	201	233	169	142	2.032

Setores	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Energia	22.161	23.988	22.525	22.785	23.171	24.178	24.533	26.639	28.555
Energético amplo	3.367	5.027	5.353	5.321	5.181	6.190	6.683	7.631	9.200
Industrial	5.684	5.183	4.967	5.268	5.609	5.640	5.517	6.093	5.566
Transporte	6.768	6.954	7.042	6.774	7.499	7.432	7.762	8.158	8.425
Residencial	1.090	1.139	1.070	985	1.019	1.034	1.064	1.095	1.130
Comercial	15	17	15	12	12	15	15	17	22
Agropecuário	583	612	641	583	644	679	618	448	731
Público (1)	53	56	68	67	82	69	58	68	119
Consumo não energético	2.533	2.342	2.314	2.442	2.300	2.672	2.527	2.648	2.417
Perdas no <i>downstream</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Perdas no <i>upstream</i>	2.069	2.658	1.055	1.333	826	447	288	483	945

Fonte: Bahia (2008, 2009).

(1) Exceto centrais elétricas.

## Emissões de GEE pelo consumo de combustíveis fósseis por setor de atividade

### Emissões de gases de efeito estufa em CO<sub>2</sub>eq.

Com a aplicação do método *bottom up* os resultados mostram que as emissões medidas em CO<sub>2</sub>eq.<sup>3</sup> cresceram 83% entre 1990 e 2008, passando de 15.585 GgCO<sub>2</sub>eq. em 1990, para 28.555 GgCO<sub>2</sub>eq.

<sup>3</sup> O uso do fator de emissão em CO<sub>2</sub>eq. para os gases não CO<sub>2</sub> permite que os resultados das ações dos diferentes gases possam ser comparados, obtendo-se um montante total pela agregação desses gases em unidades equivalentes de CO<sub>2</sub>. Para tanto, foi criado o potencial de aquecimento global GWP (da sigla em inglês *Global Warming Potential*). O GWP é uma tentativa de fornecer uma medida simples dos efeitos radiativos relativos de diferentes gases estufa, tendo-se o CO<sub>2</sub> como referência.

em 2008. Desse total, as emissões de CO<sub>2</sub> foram responsáveis por 98% do total, com emissões que totalizaram 28.089 GgCO<sub>2</sub>eq. Este crescimento foi consequência da elevação da participação dos combustíveis fósseis na matriz do setor energético estadual e da queda da participação dos energéticos renováveis, a exemplo da lenha e do carvão vegetal.

Conforme se pode observar na Tabela 4, o segmento energético amplo foi o maior responsável pelas emissões, com 32% de participação, seguido dos segmentos de transporte e industrial com 30% e 20%, respectivamente. É importante destacar que entre 1990 e 2008 as emissões associadas ao subsetor centrais elétricas autoprodutoras cresceram quase 1.950%, passando de

311 GgCO<sub>2</sub>eq. em 1990 para 6.365 GgCO<sub>2</sub>eq. em 2008. É esse substancial crescimento que explica a inversão das emissões na composição setorial entre o setor energético amplo e o setor industrial. Ressalte-se que em 1990, de um total de 15.585 GgCO<sub>2</sub>eq. emitidos, o setor industrial respondeu por 37%, enquanto que o setor energético amplo contribuiu com apenas 12%.

Essa grande mudança começa a ocorrer em 2001, ano em que esses dois setores se equivalem em termos de emissões. A partir daí o segmento energético amplo passa a liderar o *ranking*, enquanto no setor industrial, a maioria dos segmentos reduziu suas emissões por queima de combustíveis fósseis ao longo da série histórica (1990-2008).

As maiores reduções relativas ocorreram no segmento de cimento, que a partir de 2001 praticamente zerou as suas emissões, no segmento de outros minerais não metálicos, que também apresentou importante redução das emissões e na indústria química, cujas emissões decresceram 14%.

Já no segmento de transporte esse movimento de elevação das emissões e ultrapassagem em relação ao segmento industrial tem início em 1997. As emissões do setor de transporte cresceram 80%, nesse período, em função, sobretudo, do crescimento observado no nodal rodoviário, com 97% de crescimento, e no segmento aéreo que, apesar do menor valor absoluto, cresceu 107%. O transporte hidroviário apresentou uma significativa queda das emissões da ordem de 87%.

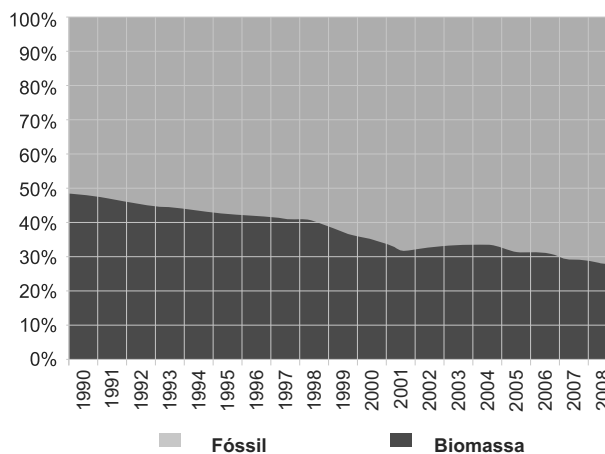
Embora pouco significativas em termos absolutos, as emissões por queima de combustíveis do setor público, comercial e o agropecuário registraram crescimentos relativos importantes. As emissões do setor público cresceram 750%, o comercial de 633% e o agropecuário 188%, entre 1990 e 2008. O setor residencial aumentou suas emissões em apenas 26%.

Em 1998, as emissões fugitivas representaram apenas 3% da queima de combustíveis fósseis, considerando os diferentes segmentos de atividades. As emissões de 945 GgCO<sub>2</sub>eq. foi praticamente igual àquela registrada em 1990, de 933Gg CO<sub>2</sub>eq.,

que representava 6% do total. Vale destacar que entre 1999 e 2001 as emissões fugitivas elevaram-se de forma importante, representando 9% e 11%, respectivamente, significativamente mais elevadas do que os 3% registrados em 2008.

As emissões de CO<sub>2</sub> da biomassa renovável queimada com fins energéticos não foram computadas nas emissões totais do Estado, uma vez que o CO<sub>2</sub> emitido foi absorvido durante o ciclo de crescimento das plantas. Seu uso evitou emissões que ocorreriam caso fossem utilizados, para a mesma finalidade, combustíveis de origem fóssil.

Apenas a título de informação apresenta-se no Gráfico 3 o comportamento das emissões dos combustíveis fósseis e das biomassas, permitindo identificar com clareza a redução das emissões provenientes da queima de biomassas, fato compatível com a redução substancial do consumo da lenha no estado da Bahia.

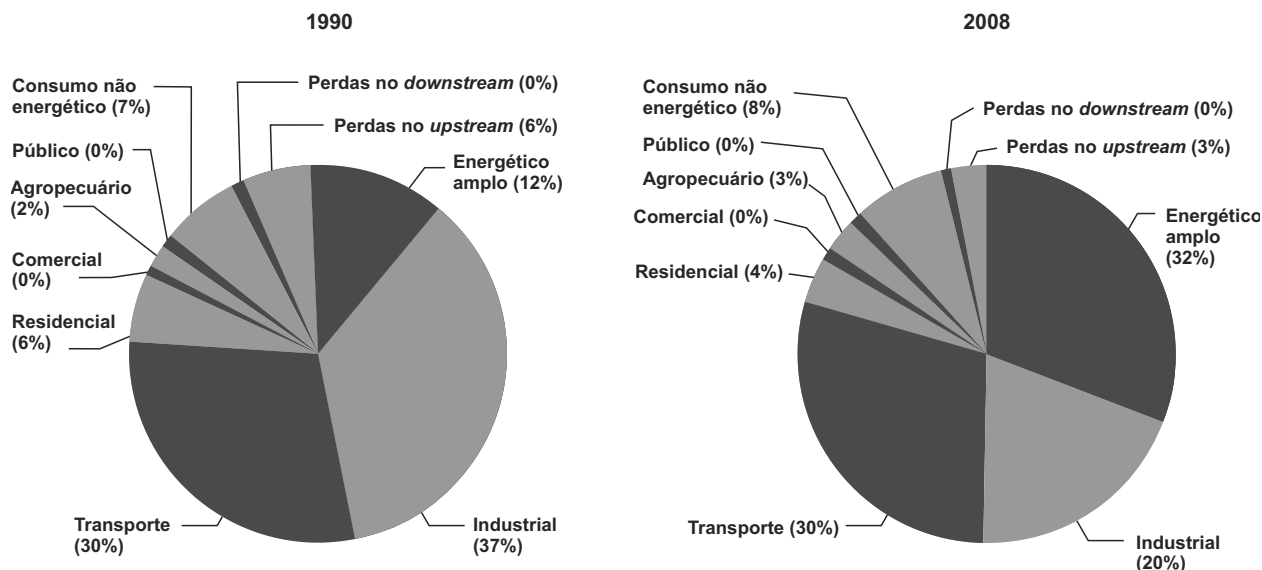


**Gráfico 3**  
Evolução das emissões combustíveis fósseis e biomassas – Bahia – 1990-2008

Fonte: Bahia (2008, 2009).

### Emissões dos outros GEE

As emissões dos gases não CO<sub>2</sub> representam uma parcela muito reduzida no total das emissões resultantes da queima de combustíveis fósseis, com uma participação inferior a 2% do total, sendo o monóxido de carbono (CO) o que tem maior



**Gráfico 4**  
Emissões totais de GEE por segmento de atividade – Bahia – 1990/2008

Fonte: Bahia (2009).

representatividade, 61%, seguido do óxido nitroso ( $N_2O$ ), com 28%.

As emissões de monóxido de carbono (CO) se concentram no segmento de transporte rodoviário, responsável por 92% das emissões. Em relação às emissões de metano ( $CH_4$ ), o transporte é também o principal emissor, respondendo por 66% do total, seguido do setor energético amplo com 17% em 2008.

Destaque-se que em relação a 1992 houve uma importante alteração da participação da indústria nas emissões do metano, que reduziu sua participação de 23% em 1992 para 7% em 2008, e uma elevação do setor energético amplo, passando de 6% em 1992 para 17% em 2008.

Com diferentes participações relativas, as emissões de óxido de nitrogênio ( $NO_x$ ) e óxido nitroso ( $N_2O$ ) também se concentram nos segmentos de transporte rodoviário, indústria química e setor energético amplo. Ressalte-se que com relação às emissões do  $NO_x$  eleva-se a participação do setor energético amplo, passando de 9% em 1992 para 25%, em 2008 e reduz-se a participação da indústria química de 34%, em 1992 para 11% em 2008.

Para o  $N_2O$  essas participações variam de 31% em 1992 para 15% em 2008, na indústria, e de 7% para 12% no setor energético amplo. O setor de transporte aumenta suas emissões de  $N_2O$  de 57% em 1992 para 68% em 2008.

No Gráfico 4 encontram-se detalhadas as participações das emissões dos GEE por setor de atividade para os anos de 1990 e 2008.

Na Tabela 5<sup>4</sup>, os dados mostram as emissões nacionais e no estado da Bahia para os anos de 1990, 1994 e 2007. Observa-se que a participação do estado da Bahia decresceu ao longo do período, passando de 8,3% em 1990, para 7,6% em 1994 e

**Tabela 5**  
Emissões nacionais e da Bahia – 1990, 1994 e 2007 (Gg CO<sub>2</sub>)

Ano	Sist. energético Nacional	Sist. energético Bahia	Participação Bahia
	Gg CO <sub>2</sub>	Gg CO <sub>2</sub>	(%)
1990	203	17	8,3
1994	237	18	7,6
2007	335	23	6,9

Fonte: MCT.

<sup>4</sup> Com base em cálculo desenvolvido em nível nacional pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA), pelo método *top down*.

para 6,9% em 2007. Enquanto as emissões brasileiras cresceram 65% entre 1990 e 2007, as emissões do estado da Bahia relacionadas ao consumo de energia pela queima de combustíveis fósseis elevaram-se 35%, pouco mais da metade do crescimento observado em nível nacional.

## SETOR INDUSTRIAL E USO DE PRODUTOS<sup>5</sup>

### Metodologia

São estimadas nesse setor as emissões antrópicas resultantes dos processos produtivos de três

deverem incluir apenas as emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa, descartando, portanto, os gases clorofluorcarbonos (CFC) e os hidroclorofluorcarbonos (HCFC), cujas emissões já são controladas pelo Protocolo de Montreal.

Os gases de efeito estufa (GEE) cujas emissões e remoções antrópicas estão sendo estimadas no setor industrial são o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), o metano (CH<sub>4</sub>), o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) e os perfluorcarbonos (PFC).

O Quadro 1 sintetiza as categorias e subcategorias industriais e gases do efeito estufa inventariados, de acordo com a classificação do IPCC 2006.

Categoria industrial	Subcategoria	Gases			
		CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	PFCs
Minerais não metálicos	Cimento	X			
	Cal	X			
	Magnésio	X			
Metalurgia	Ferro e aço	X			
	Ferroligas	X			
	Alumínio primário	X	X		X
Química	Amônia	X			
	Ácido nítrico			X	
	Caprolactama			X	
	Etileno		X		
	Metanol		X		
	Dicloroetileno (EDC) / Manômero vinílico (MVC)	X	X		
	Óxido de etileno	X	X		
	Acrilonitrila	X	X		
Uso de produtos	Lubrificantes	X			
	Parafinas	X			

**Quadro 1**  
Categorias e subcategorias industriais e gases inventariados

subsetores industriais da Bahia, as quais não são resultado da queima de combustíveis, que é computada no setor energia. De acordo com o que prescreve a Convenção do Clima, os inventários

De acordo com o Guia IPCC 2006 para esse setor, três passos compõem o ciclo típico para a elaboração de um inventário do setor industrial e precedem o cálculo das emissões, conforme descrito em seguida.

#### a) Seleção das categorias-chave

A seleção das categorias (mais emissoras) a serem avaliadas para um novo inventário

<sup>5</sup> O Guia IPCC 2006 identifica este setor pela sigla IPPU, do inglês *industrial process and products uses*.

deve ser feita com base em um inventário já concluído. Na ausência deste, como é o caso da Bahia, esta etapa foi desenvolvida com base no conhecimento da realidade local. Seguindo essa orientação, o primeiro passo para a identificação das categorias-chave do estado da Bahia foi examinar a estrutura da produção industrial por ramo de atividade, já desagregadas pelos setores e subsetores cujos produtos/processos são considerados emissores de GEE pelo Guia IPCC 2006. Em sequência, foram levantadas as empresas/plantas industriais que fabricavam esses produtos nos cadastros existentes em órgãos públicos e entidades de classe, bem como seus processos produtivos para identificação das emissoras.

#### **b) Seleção da abordagem metodológica**

Esta etapa envolveu a escolha do método de estimação das emissões, tendo por objetivo identificar os dados necessários a serem coletados. Foram adotados, em geral, os métodos de nível 1 (*tiers 1*) do IPCC 2006, considerando ser o mais simples, pois demanda apenas dados de produção física, associados, em algumas subcategorias, aos processos tecnológicos de produção. Esta escolha se deve aos custos associados à coleta de informações detalhadas por planta, o que demandaria recursos e tempo não previstos na elaboração do presente inventário.

#### **c) Levantamento e tratamento dos dados**

As metodologias de cálculo aplicadas foram as indicadas no Guia IPCC 2006, utilizando-se os fatores de emissão padrão (*default*)<sup>6</sup> disponibilizados neste guia e fatores nacionais, quando disponíveis.

Os dados de produção física foram levantados diretamente nas empresas, mediante pesquisa da equipe técnica, com a colaboração da SEMA, em um universo de 32 plantas industriais. Foram solicitados dados para o período 1998 a 2008. Informações adicionais sobre processos e tecnologias foram obtidas em empresas e documentos públicos.

As emissões foram estimadas para o período 1998 a 2008, considerando as seguintes categorias/subcategorias industriais, conforme classificação adotada pelo guia:

- Indústria de produtos minerais não metálicos – inclui as emissões de CO<sub>2</sub> da produção de cimento, cal, magnésio não metalúrgico. O subsetor de produção de vidro foi descartado, pois só produz a partir de material reciclável.
- Indústria metalúrgica – abrange a produção de ferro e aço, de ferroligas e de alumínio primário, na qual ocorrem emissões de CO<sub>2</sub>, sendo que, no alumínio, também há emissões de PFCs.
- Indústria química – foram inventariadas as emissões de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O e resultantes da produção de amônia, ácido nítrico, caprolactama, metanol, etileno, óxido de etileno, acrilonitrila e EDC/MVC e acrilonitrila.
- Uso de produtos – engloba as emissões de CO<sub>2</sub> decorrentes do uso de combustíveis como insumos primários, exceto combustão para geração de energia, como carga para processos químicos ou como agente redutor. São tratados aqui os lubrificantes e as parafinas.

#### **Emissões de GEE pelos subsetores industriais inventariados**

A Tabela 6 e os gráficos 5 e 6 mostram a evolução das emissões de CO<sub>2</sub>, o principal gás de efeito estufa, no período 1998-2008, por produtos do setor industrial e uso de produtos considerados neste inventário. Em 2008, estas emissões totalizaram 1.542 Gg. O subsetor mais emissor foi o de minerais

<sup>6</sup> Fatores de emissão são índices que quantificam as emissões/absorções de um GEE por unidade de atividade e se baseiam em amostras de dados de medições médias, obtidas de estudos realizados em diversos países para a elaboração de inventários.

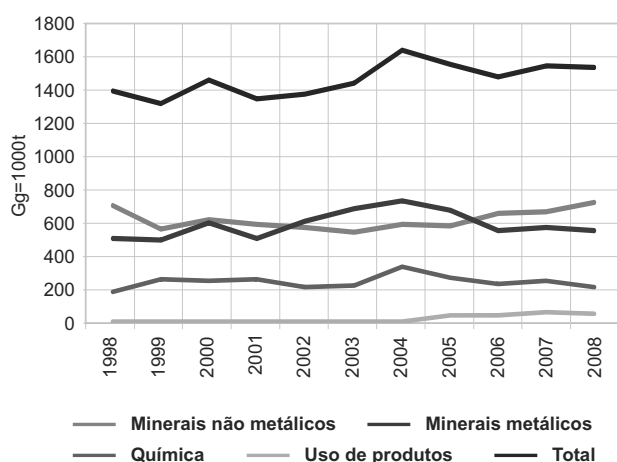
PRIMEIRO INVENTÁRIO DE EMISSÕES DE GASES DO EFEITO ESTUFA: SÍNTESE DOS RESULTADOS NOS SETORES ENERGIA E PROCESSOS INDUSTRIAIS E USOS DE PRODUTOS

**Tabela 6**  
Emissões de CO<sub>2</sub> por subsetor do setor processos industriais e uso de produtos – Bahia – 1998-2008

(Gg)

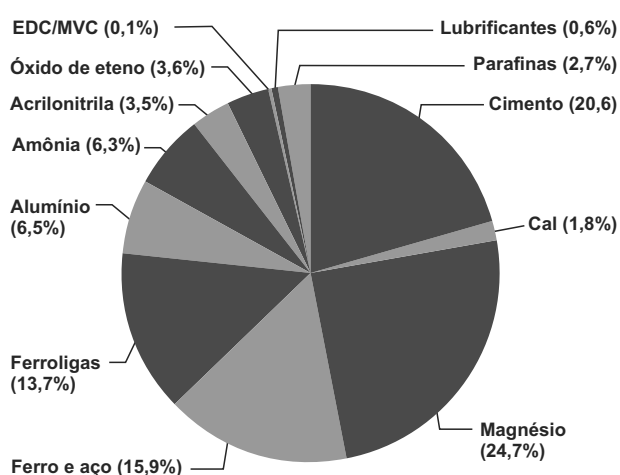
Produto	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
<b>Indústria minerais não metálicos</b>											
Cimento	360,66	313,91	269,30	248,37	254,79	186,82	182,78	216,56	233,41	271,05	317,46
Cal	32,21	19,51	26,11	29,54	18,03	33,01	35,15	24,80	14,29	18,06	27,69
Magnésio	317,74	236,17	328,40	314,21	297,55	326,39	371,02	342,59	416,00	384,25	381,41
Subtotal	710,60	569,59	623,81	592,12	570,36	546,22	588,95	583,95	663,70	673,36	726,56
<b>Indústria minerais metálicos</b>											
Ferro e aço	267,09	315,11	327,32	272,60	285,93	328,27	350,77	327,20	301,35	284,91	245,01
Ferroligas	150,81	92,17	171,56	152,94	233,42	260,85	279,91	244,62	158,81	188,81	211,79
Alumínio	91,22	89,52	96,27	80,93	89,20	95,65	98,34	96,95	90,73	99,46	99,80
Subtotal	509,11	496,80	595,15	506,47	608,55	684,77	729,03	668,77	550,89	573,17	556,60
<b>Indústria química</b>											
Amônia	39,00	50,00	53,00	85,00	75,00	78,00	193,00	142,00	108,00	121,00	97,00
Acrilonitrila	51,00	63,00	69,00	59,00	60,00	60,00	66,00	61,00	67,00	70,00	54,00
Óxido de eteno	93,00	144,00	126,00	108,00	71,00	78,00	69,00	64,00	51,00	55,00	55,00
EDC/MVC	1,98	2,01	2,07	1,72	1,74	1,74	1,91	2,09	1,83	1,89	1,91
Subtotal	184,98	259,01	250,07	253,72	207,74	217,74	329,91	269,09	227,83	247,89	207,91
<b>Uso de produtos</b>											
Lubrificantes	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	7,7	8,2	10,4	9,5
Parafinas	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	34,8	33,2	46,4	41,7
Subtotal	0	0	0	0	0	0	0	42,5	41,4	56,8	51,2
<b>Total</b>	<b>1404,70</b>	<b>1325,40</b>	<b>1469,03</b>	<b>1352,32</b>	<b>1386,65</b>	<b>1448,74</b>	<b>1647,89</b>	<b>1564,31</b>	<b>1483,83</b>	<b>1551,22</b>	<b>1542,27</b>

Fonte: Bahia (2009).



**Gráfico 5**  
Evolução da emissão de CO<sub>2</sub> por subsetor do setor industrial e uso de produtos – Bahia – 1998-2008

Fonte: Bahia (2009).



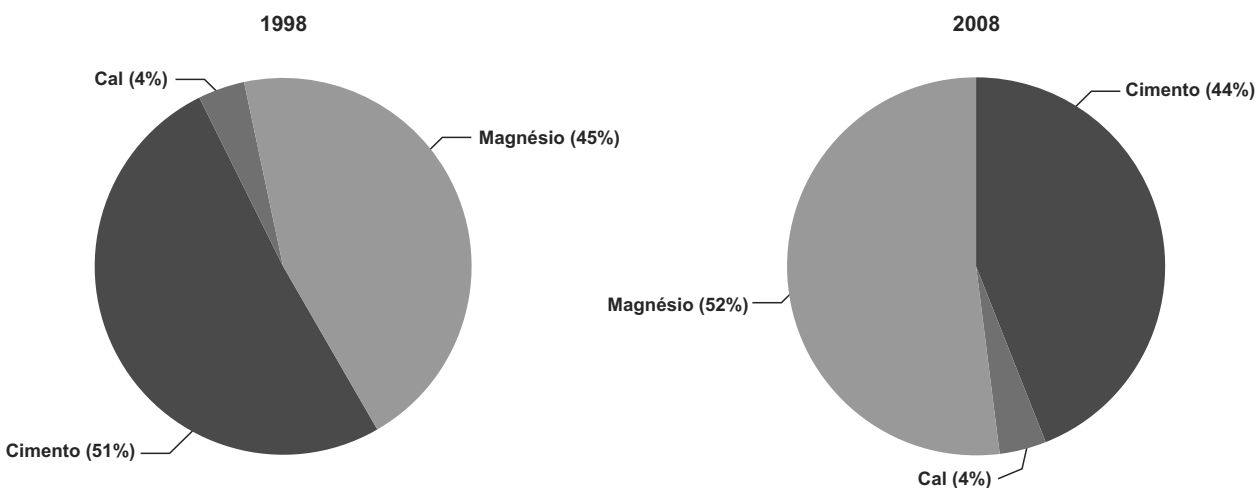
**Gráfico 6**  
Participação dos produtos nas emissões de CO<sub>2</sub> Bahia – 2009

Fonte: Bahia (2009).

**Tabela 7**  
Emissões de gases não CO – Bahia – 1998-2008

Gás	(GgCO <sub>2</sub> eq.)										
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
em Gg											
CH <sub>4</sub>	3,997	3,937	3,899	3,914	3,566	3,789	3,990	4,169	4,017	4,220	3,770
C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
N <sub>2</sub> O	0,430	0,490	0,540	0,450	0,560	0,470	0,490	0,480	0,420	0,450	0,360
em Gg CO <sub>2</sub> -eq											
CH <sub>4</sub>	83,941	82,669	81,879	82,185	74,896	79,564	83,784	87,554	84,357	88,622	79,175
C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	17,278	16,957	18,235	15,330	16,895	18,118	18,627	18,364	17,186	18,838	18,903
N <sub>2</sub> O	133,300	151,900	167,400	139,500	173,600	145,700	151,900	148,800	130,200	139,500	111,600
<b>Total</b>	<b>234,519</b>	<b>251,525</b>	<b>267,513</b>	<b>237,015</b>	<b>265,391</b>	<b>243,382</b>	<b>254,311</b>	<b>254,718</b>	<b>231,743</b>	<b>246,960</b>	<b>209,678</b>
1 Gg = 1.000 t											

Fonte: Bahia (2009).



**Gráfico 7**  
Participação dos subsetores nas emissões da indústria de minerais não metálicos – Bahia – 1998/2008

Fonte: Bahia (2009).

não metálicos (47,1%), seguido do subsetor de minerais metálicos (36,1%), vindo em sequência o químico (13,5%) e por último o uso de produtos (3,3%).

Com relação às emissões dos demais gases de efeito estufa estimados para o setor, estas totalizaram 209,7 GgCO<sub>2</sub>eq., em 2008. Desse total, 37,8% foi de CH<sub>4</sub>, proveniente da indústria química, em sua maior parte, e de alumínio, 53,2% de N<sub>2</sub>O da indústria química e apenas 9,0% de C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>, este decorrente apenas da produção de alumínio, conforme

apresentado na Tabela 7. A seguir são discriminadas as emissões por subsetor industrial inventariado.

#### Indústria de minerais não metálicos

As emissões de CO<sub>2</sub> na indústria de minerais não metálicos da Bahia é decorrente do uso de carbonatos como insumo nos processos de calcinação de minérios que dão origem a uma série de produtos, como cimento, cal e magnésio.

Conforme apresentado na Tabela 5, as emissões totais da indústria de minerais não metálicos atingiram 727 Gg em 2008, apenas 2,3% maiores que em 1998, em decorrência, principalmente, da redução da produção de cimento no período analisado, como ilustra o Gráfico 7. A participação das emissões de cimento no total, que era de 50%, em 1998, caiu para 44%, em 2008, enquanto as de derivados de magnésio cresceram de 45% para 52% no mesmo período, e as de cal permaneceram praticamente estáveis.

### Indústria de minerais metálicos

A fabricação de ferro e aço gera emissões de três gases do efeito estufa: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), embora o Guia IPCC limite suas orientações para as emissões de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>.

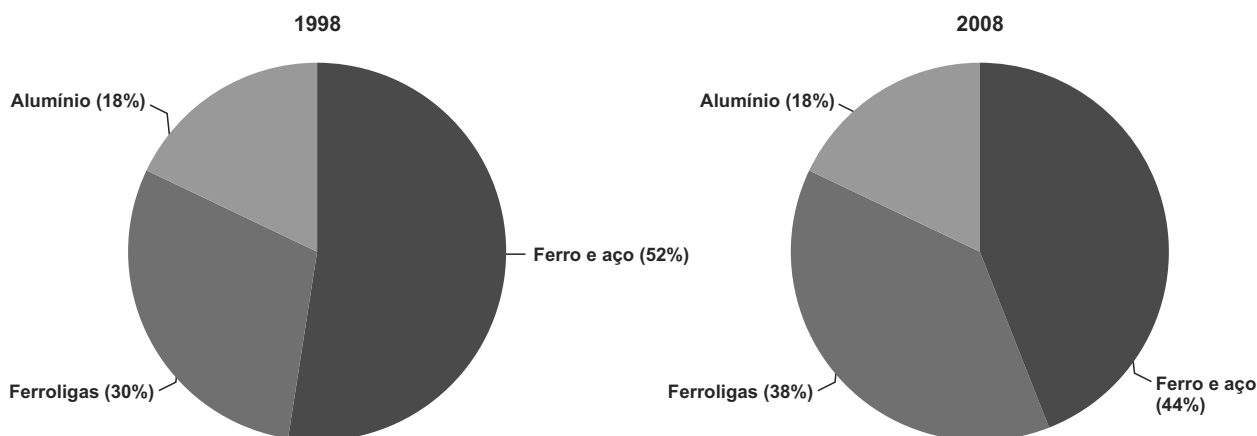
A produção de ferro e aço pode ser feita em usinas integradas, que realizam as três etapas do processo (redução, refino e laminação) ou não integradas (fazem apenas os processos de laminação).

Neste ramo industrial, a maior parte das emissões de CO<sub>2</sub> está vinculada à produção de ferro, pois o seu processo produtivo requer o uso de carbono (principalmente sob a forma de coque), em fornos de altas temperaturas, substância que age

como redutor. Outro processo para a produção de ferro é o de redução direta em fornos a temperaturas inferiores a 1.000 °C, no qual o minério é transformado em ferro metálico em estado sólido, produzindo o denominado ferro reduzido direto (DRI, do inglês *direct reduced iron*), cujo conteúdo de carbono é inferior a 2%. As emissões derivam do consumo de combustíveis usados nos fornos (gás natural, carvão). Nessa indústria, só são contabilizadas as emissões decorrentes do uso de carbono como redutor (carvão mineral, gás e coque).

As ferroligas são ligas de ferro associadas a outros minerais que são utilizadas principalmente pela indústria siderúrgica, como elemento de liga para a produção de aço. As ligas de manganês são aplicadas na produção de todos os tipos de aço e ferro fundido. As de cromo e níquel, na produção de aço inoxidável. As de silício, em aços comuns, e as especiais, na produção de aços especiais de elevada resistência, empregados principalmente na indústria aeronáutica e de fabricação de produtos ótico-eletrônicos.

A produção de ferroligas envolve processos de redução e fundição, nos quais os minerais (cromo, manganês, nióbio, vanádio, silício etc.) são misturados e aquecidos em fornos de alta temperatura, empregando como redutores o coque e o carvão vegetal. A metodologia do IPCC



**Gráfico 8**  
Participação dos subsetores nas emissões da indústria de minerais metálicos – Bahia – 1998/2008

Fonte: Bahia (2009).



**Tabela 8**  
**Emissões de GEE da produção da indústria química – 1998-2008**

GEE	(em Gg)										
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
CO <sub>2</sub>	184,98	259,01	250,07	253,72	207,74	217,74	329,91	269,09	227,83	247,89	207,91
CH <sub>4</sub>	3,97	3,91	3,87	3,89	3,54	3,76	3,96	4,14	3,99	4,19	3,74
N <sub>2</sub> O	0,43	0,49	0,54	0,45	0,56	0,47	0,49	0,48	0,42	0,45	0,36
<b>Total</b>	<b>189,38</b>	<b>263,41</b>	<b>254,48</b>	<b>258,06</b>	<b>211,84</b>	<b>221,97</b>	<b>334,36</b>	<b>273,71</b>	<b>232,24</b>	<b>252,53</b>	<b>212,01</b>

1 Gg = 1.000 t

Fonte: Bahia (2009).

2006, em seu nível mais simples, permite calcular as emissões usando fatores *default* por tipo de liga, que foram estimados baseados no uso exclusivo de carbono fóssil.

O alumínio primário se produz por um processo de redução eletrolítica no qual ocorre uma reação química entre o anodo de carbono e a alumina, liberando CO<sub>2</sub>. Este processo pode ser feito mediante duas rotas tecnológicas principais, cujas diferenças residem no tipo de anodo utilizado: Søderberg e Prebake. A primeira rota é a utilizada na planta da Bahia. A produção de alumínio gera também emissões de outros gases do grupo perfluorcarbonos (PFC): o tetrafluorometano (CF<sub>4</sub>) e o hexafluoretano (C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>).

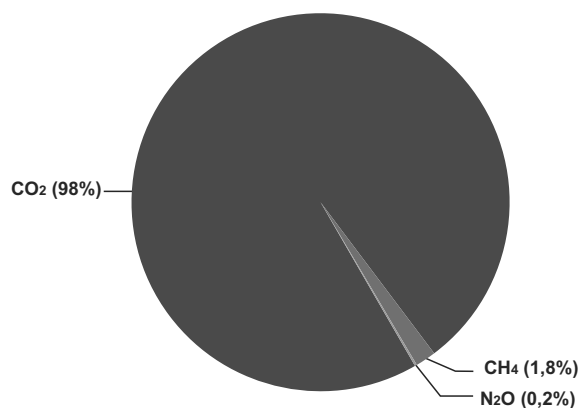
As emissões da indústria de minerais metálicos no período avaliado, como consta da Tabela 5, somaram, em 2008, 557 Gg, 9,3% superiores às de 1998. O Gráfico 8 mostra a contribuição de cada setor nas emissões totais de 1998 e 2008. Entre 1998 e 2008, as emissões derivadas da produção de ferroligas aumentaram de 30% para 38%, as de ferro e aço diminuíram de 52% para 44%, enquanto as de alumínio permaneceram praticamente estáveis, em 18%, nos referidos anos.

### Indústria química

Nos processos produtivos da indústria química, incluindo a petroquímica, há emissões de vários gases do efeito estufa. Nesse segmento foram analisados os seguintes produtos fabricados no estado da Bahia, cujos processos são emissores: amônia, ácido nítrico, caprolactama, metanol,

etileno, EDC-MVC, óxido de etileno e acrilonitrila, para os quais foram computadas as emissões de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O.

Para a produção dos compostos químicos citados são usados combustíveis primários, como o gás natural, ou um derivado do petróleo, como a nafta, como matérias-primas. Entretanto, os processos de produção podem utilizar queima de parte desses mesmos combustíveis ou então de óleo combustível com o propósito de alcançar as temperaturas necessárias para a reação química ocorrer e para se conduzir a contento as etapas subseqüentes de separação das correntes do processo para a purificação do produto final. Para alguns dos produtos químicos contemplados nesta seção, o Guia IPCC apresenta fatores de emissão que englobam as emissões relativas ao processo em si e aquelas originadas na geração de energia requerida pelo

**Gráfico 9**  
**Contribuição dos GEE nas emissões totais da indústria química – Bahia – 2008**

Fonte: Bahia (2009).

**Tabela 9**  
Emissões de GEE CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub> provenientes da indústria química – Bahia – 1998-2008 (Gg)

Produto	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
<b>CO<sub>2</sub></b>											
Amônia	39	50	53	85	75	78	193	142	108	121	97
Acrlonitrila	51	63	69	59	60	60	66	61	67	70	54
Óxido de eteno	93	144	126	108	71	78	69	64	51	55	55
EDC/MVC	1,98	2,01	2,07	1,72	1,74	1,74	1,91	2,09	1,83	1,89	1,91
<b>Total</b>	<b>184,98</b>	<b>259,01</b>	<b>250,07</b>	<b>253,72</b>	<b>207,74</b>	<b>217,74</b>	<b>329,91</b>	<b>269,09</b>	<b>227,83</b>	<b>247,89</b>	<b>207,91</b>
<b>N<sub>2</sub>O</b>											
Ácido nítrico	0,04	0,04	0,04	0,02	0,04	0,03	0,04	0,03	0,04	0,03	0,03
Caprolactama	0,39	0,45	0,5	0,43	0,52	0,44	0,45	0,45	0,38	0,42	0,33
<b>Total</b>	<b>0,43</b>	<b>0,49</b>	<b>0,54</b>	<b>0,45</b>	<b>0,56</b>	<b>0,47</b>	<b>0,49</b>	<b>0,48</b>	<b>0,42</b>	<b>0,45</b>	<b>0,36</b>
<b>CH<sub>4</sub></b>											
Acrlonitrila	0,010	0,010	0,020	0,010	0,010	0,010	0,020	0,010	0,020	0,020	0,010
Óxido de eteno	0,380	0,380	0,370	0,410	0,370	0,420	0,440	0,440	0,430	0,460	0,400
Metanol	0,180	0,170	0,160	0,200	0,180	0,200	0,170	0,170	0,210	0,190	0,180
Etileno	3,390	3,340	3,310	3,260	2,970	3,120	3,320	3,510	3,320	3,510	3,140
EDC/MVC	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
<b>Total</b>	<b>3,965</b>	<b>3,905</b>	<b>3,865</b>	<b>3,885</b>	<b>3,535</b>	<b>3,755</b>	<b>3,955</b>	<b>4,135</b>	<b>3,985</b>	<b>4,185</b>	<b>3,735</b>
Gg = 1.000 t											

Fonte: Bahia (2009).

processo. Para se evitar dupla contabilização, esta seção da indústria química apresenta apenas as emissões relativas ao processo químico em si, deixando-se as emissões relativas à geração de energia requerida pelos processos para serem apresentadas no inventário do setor de energia.

A Tabela 8 e o Gráfico 9 apresentam uma síntese das emissões totais destes gases nesse segmento para o período 1998-2008, nas quais se observa que as emissões de CO<sub>2</sub> representaram 98% do total em 2008. Seguindo a variação da produção, as emissões de CO<sub>2</sub> variaram entre o mínimo de 185 Gg, em 1998, e 330 Gg, em 2004, maior volume no período.

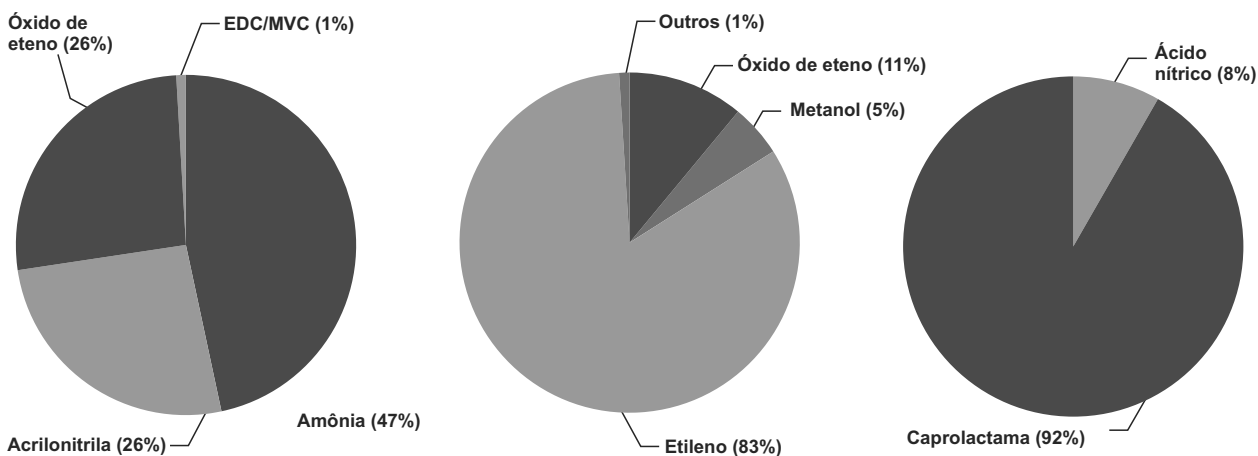
A Tabela 9 discrimina as emissões por gás e produto da indústria química, e o Gráfico 10 mostra a participação dos produtos nas emissões dos diferentes gases em 2008, sendo que a produção de amônia respondeu por quase metade (47%) das emissões de CO<sub>2</sub>, principal GEE desse subsetor.

## Uso de produtos

Esta seção cobre os usos de materiais combustíveis não destinados à combustão para geração de energia, carga para processos químicos ou agente redutor. São tratados aqui os lubrificantes e as parafinas. Usos posteriores dos produtos acima, como a combustão de lubrificantes usados, devem ser contabilizados no setor de resíduos, quando ocorre incineração para descarte, ou no setor de energia, quando há a recuperação de energia.

As estimativas de emissão de CO<sub>2</sub> que ocorrem com a utilização de lubrificantes e parafinas são feitas considerando-se que parte desses produtos sofre combustão durante seu uso, tais como os lubrificantes e as graxas empregados em motores à explosão, ou que parte da produção é destinada à queima, como é o caso das parafinas utilizadas em velas.

Estima-se que as emissões de CH<sub>4</sub> decorrentes do uso de lubrificantes, parafinas, betume/



**Gráfico 10**  
Emissões de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O por produtos da indústria química – Bahia – 2008

Fonte: Bahia (2009).

asfalto e solventes sejam praticamente inexistentes, pois a totalidade desse gás e de outras frações leves contidas no petróleo já foi extraída nas várias etapas intermediárias de processamento até a obtenção dos produtos finais.

Asfalto/betume e solventes não são fontes significativas de gases do efeito estufa. Eles são, porém, fontes de emissões de NMVOCs (compostos orgânicos voláteis que não o metano) e CO, que se transformam em CO<sub>2</sub> na atmosfera. Por não haver metodologia própria do IPCC para a contabilização dessas emissões e por envolver um levantamento de dados muito mais amplo, as emissões de NMVOCs e CO não foram consideradas neste inventário.

Os lubrificantes são utilizados principalmente em indústrias e em transportes. Podem ser produzidos em refinarias ou em centrais petroquímicas. São divididos em óleos para motores e graxas.

É difícil distinguir entre a fração do lubrificante que é queimada e aquela não completamente

oxidada que dá origem a CO e NMVOCs. Por esta razão, CO e NMVOCs são raramente incluídos nos inventários. Assim, a quantidade de lubrificante perdida é tida como completamente transformada em CO<sub>2</sub> durante o uso do produto.

A maior contribuição dos lubrificantes em termos de CO<sub>2</sub> é quando são coletados no final de sua vida útil e descartados através de queima sem a geração de energia. Este tipo de emissão, no entanto, deve ser considerado como resíduo e tratado como tal para fins de inventário.

As parafinas são separadas do óleo cru durante a produção de óleos lubrificantes leves. São classificadas pelo conteúdo de óleo e pelo grau de refino e utilizadas em velas, caixas corrugadas, revestimento de papéis, ceras polidoras, surfactantes, como os utilizados em detergentes, e outros. As emissões ocorrem na queima durante o uso (e.g. velas), quando são incineradas com ou sem recuperação do calor liberado, e durante

**Tabela 10**  
Emissões de CO<sub>2</sub> do uso de lubrificantes e parafinas – Bahia – 1998-2008

Produto	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Lubrificantes	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	7,7	8,2	10,4	9,5
Parafinas	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	34,8	33,2	46,4	41,7

1 Gg = 1.000 t

Fonte: Bahia (2009).

tratamento de efluentes, no caso de surfactantes. Tais emissões decorrentes de incineração e tratamento de efluentes devem ser tratadas como geração de energia e como resíduos, respectivamente.

Para esse subsetor, as informações disponibilizadas referem-se ao período 2005 a 2008 e estão discriminadas na Tabela 9. Observa-se que, no período analisado, as emissões de CO<sub>2</sub> do uso de parafinas cresceram 20,0%, com média anual 39 Gg, enquanto as do uso de lubrificantes aumentaram 23,4%, com média anual de 9 Gg, embora as primeiras tenham emissões mais de quatro vezes superiores às de lubrificantes.

### **Síntese das emissões no setor de processos industriais e uso de produtos**

Embora este primeiro inventário não tenha sido exaustivo em relação a todas as categorias do setor industrial, contabiliza os subsetores de maior peso na indústria estadual.

Entre 1998 e 2008, as emissões de CO<sub>2</sub>, principal gás de efeito estufa do setor industrial baiano, cresceram 10%, passando de 1.405 GgCO<sub>2</sub> em 1998, para 1.542 GgCO<sub>2</sub> em 2008. As emissões, seguindo o comportamento da produção física industrial, variaram de 1.325 GgCO<sub>2</sub> volume mínimo registrado em 1999, ao máximo de 1.648 GgCO<sub>2</sub> em 2004.

Em 2008, o subsetor mais emissor foi o de minerais não metálicos (47,1%), seguido do subsetor de minerais metálicos (36,1%), vindo em sequência o químico (13,5%) e por último o uso de produtos (3,3%).

Considerando a produção desagregada, as indústrias de amônia, ferroligas e derivados de magnésio foram as que apresentaram os maiores índices de crescimento de emissões de CO<sub>2</sub>, de respectivamente 49%, 40% e 20% na década inventariada.

## **CONCLUSÕES**

Este artigo sintetiza um primeiro grande esforço de produzir um inventário das emissões de gases

de efeito estufa no estado da Bahia. Inicialmente, cobriram-se apenas os setores energético de processos industriais e usos de produtos. Seguiu-se a metodologia desenvolvida pelo IPCC e também adotada para o inventário nacional. A elaboração do inventário deve se constituir num processo dinâmico, sendo atualizado periodicamente, e mais completo que o presente, que só apresentou o panorama de dois setores, deixando de fora os segmentos da agropecuária, da mudança do uso da terra e florestas e de tratamento de resíduos.

O inventário é uma ferramenta fundamental na montagem de políticas públicas que possibilitem a mitigação das emissões dos gases de efeito estufa, paralelamente às ações de análise dos potenciais impactos e de vulnerabilidade da mudança climática, que permitirão políticas de adaptação a um futuro certamente mais aquecido.

No setor energético, foi constatado um crescimento das emissões dos GEE de 83%, entre 1990 e 2008, que se deveu ao aumento do consumo dos combustíveis fósseis e à queda da participação dos energéticos renováveis, a exemplo da lenha e do carvão vegetal. Enquanto o crescimento do uso de combustíveis fósseis representa uma contribuição negativa do estado para o grave problema global, a redução do uso de combustíveis renováveis tradicionais, como a lenha e o carvão, significa um avanço, na medida em que estes energéticos são geralmente utilizados de forma extremamente ineficiente.

Ao se constatar que as centrais elétricas de serviço público, centrais elétricas de autoprodutores e setor energético foram os maiores responsáveis pelas emissões, com 32% de participação, indicando uma forte penetração dos combustíveis fósseis na matriz elétrica do estado da Bahia, observa-se um direcionamento equivocado, já que o estado detém significativos potenciais de fontes renováveis, como a eólica, e de aproveitamento da biomassa.

Já no setor industrial, as emissões de CO<sub>2</sub>, principal gás de efeito estufa do setor industrial

baiano, cresceram apenas 10%. Em 2008, o sub-setor mais emissor foi o de minerais não metálicos, seguido do subsector de minerais metálicos. Considerando-se a produção desagregada, as indústrias de amônia, ferroligas e derivados de magnésio foram as que apresentaram os maiores índices de crescimento de emissões de CO<sub>2</sub>.

## REFERÊNCIAS

- ANUÁRIO ESTATÍSTICO 2007. Salvador: SEI, v. 21, 2008.
- BAHIA EM NÚMEROS 2006-2008. Salvador: SEI, v. 8, 2009.
- BAHIA. Secretaria de Infraestrutura. Coordenação de Desenvolvimento Energético. *Balço energético da Bahia 2008*: série 1991 - 2007. Salvador: Coden, 2008. 119 p. il.
- \_\_\_\_\_. *Balço Energético da Bahia 2009*. Salvador: Seinfra, 2009.
- BAHIA. Secretaria do Meio Ambiente do Estado da Bahia. *Primeiro inventário baiano de emissões antrópicas de gases de efeito estufa*: setor energia. Salvador: Sema, 2010.
- \_\_\_\_\_. *Primeiro inventário baiano de emissões antrópicas de gases de efeito estufa*: setor processos industriais e usos de produtos. Salvador: Sema, 2010.
- BRASIL. Ministério de Ciência e Tecnologia. *Primeiro inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa*: emissões de dióxido de carbono por queima de combustíveis - abordagem *top-down*. Brasília: MCT, 2006. Relatórios de referência.
- BRASIL. Ministério de Ciência e Tecnologia. *Segundo inventário brasileiro de emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa*: emissões de gases de efeito estufa nos processos industriais - produtos minerais, produção de cimento. Brasília: MCT, 2010. Relatórios de referência. Parte I.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. *Segundo inventário brasileiro de emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa*: emissões de gases de efeito estufa nos processos industriais - produtos minerais, produção de cal. Outros usos de calcário e dolomita, produção e uso de barrilha. Brasília: MME, 2010. Relatórios de referência. Parte II.
- GUIA INDUSTRIAL DO ESTADO DA BAHIA. Salvador: FIEB; Recife: EBGE, 2008.
- International Panel Climate Change (IPCC) . *Guidelines for National Greenhouse Inventories*, Revised 1996. [S.l.], 1997.
- \_\_\_\_\_. *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*. [S.l.], 2000.
- \_\_\_\_\_. *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Published: IGES, Japan.2007.
- \_\_\_\_\_. *Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing*. Fourth Assessment Report (AR4). Working Group1 , Chapter 2. 2007.

Artigo recebido em 29 de agosto de 2011  
e aprovado em 30 de setembro de 2011.



# Participação da Bahia no mercado de carbono: uma análise das vertentes regulada e voluntária

*Danielle Soares Paiva\**

*Antônio Costa Silva Júnior\*\**

*André Luis Rocha de Souza\*\*\*<sup>1</sup>*

\* Doutoranda e mestre em Administração pela Universidade Federal da Bahia (UFBA); graduada em Ciências Econômicas pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Coordenadora e professora do curso de Administração do Centro Universitário Jorge Amado (Unijorge). Pesquisadora do Grupo de Pesquisa do NPGA/UFBA Governança Ambiental Global e Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. paivadani@hotmail.com

\*\* Doutor em Engenharia Industrial e mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Contador e auditor interno do Sistema de Gestão Integrado da Petróleo Brasileiro S.A. (Petrobras); professor dos cursos de Administração e Ciências Contábeis do Centro Universitário Jorge Amado (Unijorge) e Faculdade Castro Alves (FCA). Pesquisador do Grupo de Pesquisa do NPGA/UFBA Governança Ambiental Global e Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. antonio.costa@petrobras.com.br

\*\*\* Mestre em Administração e Especialista em Finanças Empresariais pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Contador e professor da União Metropolitana de Educação e Cultura (Unime), pesquisador do Grupo de Pesquisa do NPGA/UFBA Governança Ambiental Global e Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. andreirs@ufba.br

## Resumo

O presente artigo tem como objetivo analisar os projetos implantados no mercado de carbono no estado da Bahia, tanto no modo regulado quanto no voluntário. Para atingir o objetivo proposto, realizou-se uma revisão exploratória da literatura, pesquisa documental e cinco estudos de caso em projetos do gênero desenvolvidos no estado. Os resultados apresentados evidenciaram que esse mercado, seja na vertente regulada, seja na voluntária, constitui-se em um instrumento econômico de relevante importância para a viabilização de projetos que contribuam para a mitigação das mudanças climáticas. Concluiu-se que a participação da Bahia no mercado de carbono ainda é modesta, e que políticas públicas estaduais de estímulo ao desenvolvimento dessa área promoveriam avanços para o desenvolvimento sustentável no estado.

**Palavras-chave:** Mercado de carbono. Mercado voluntário. Mercado regulado. Bahia. Desenvolvimento sustentável.

<sup>1</sup> N. do E.: Participou da elaboração deste artigo o professor doutor José Célio Silveira Andrade, pesquisador-líder do grupo de pesquisa Governança Ambiental Global (GAG) e Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), do qual os autores fazem parte. O grupo se dedica ao estudo da utilização dos projetos de MDL como instrumento de promoção de transferência de tecnologia entre os países desenvolvidos e em desenvolvimento, de tecnologias mais limpas e, por fim, de desenvolvimento sustentável. O grupo também conta com a participação de pesquisadores, colaboradores e estudantes de graduação e pós-graduação de instituições de ensino nacionais e internacionais. Entre elas, a Universidade Federal da Bahia, Universidade do Estado da Bahia, Universidade Estadual de Santa Cruz, Universidade Salvador, Universidade Jorge Amado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Universidade do Estado de Santa Catarina, Universidade de Fortaleza, Instituto de Estudos Avançados da United Nations University (Yokohama, Japão) e Universidad Politécnica de Madrid (Espanha).

José Célio Silveira Andrade é pós-doutor em Ciências Políticas e Relações Internacionais pela Université Laval (Québec, Canadá); doutor em Administração; graduado e mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal da Bahia (UFBA) e vice-coordenador do grupo de pesquisa Laboratório de Análise Política Mundial (Labmundo).

**Abstract**

*This article aims to analyze projects implemented in the regulated and voluntary carbon markets in the state of Bahia. In order to reach this goal, we carried out an exploratory review of the existing literature, documentary research, and five case studies. The results show that the carbon market, whether regulated or voluntary, is an important economic instrument that can improve the viability of greenhouse gas emission reduction projects. In conclusion, we observe that the participation of the State of Bahia in the carbon market is still modest, and that public policies to stimulate this market would promote sustainable development in Bahia.*

**Keywords:** Carbon market. Voluntary market. Regulated market. Bahia. Sustainable development.



## INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas começaram a fazer parte mais intensamente das agendas de discussões de nações de todo o mundo a partir da convenção-quadro das Nações Unidas sobre a mudança do clima, assinada na Rio-92. Um dos principais desdobramentos dessa convenção foi o estabelecimento, em 1997, do Protocolo de Kyoto (PK), fruto de discussões internacionais sobre o aquecimento global. O PK é um acordo multilateral que estipula metas de redução da emissão de gases causadores do efeito estufa (GEE) por parte dos países desenvolvidos, por meio da implementação de três mecanismos de flexibilização: implementação conjunta (IC), comércio de emissões (CE) e mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL). O PK constitui-se no marco para a criação do mercado de carbono, que trouxe oportunidades para as diversas empresas, seja na perspectiva de geração de valor, seja na perspectiva de oportunidades de negócios. Dentre os mecanismos propostos pelo PK, o MDL trouxe a possibilidade de participação no mercado de carbono de países em desenvolvimento e sem metas compulsórias de redução de GEE, como o Brasil.

Além do mercado de carbono regulado pelo PK, outra vertente desse mercado, de natureza voluntária, também emergiu, por meio do desenvolvimento de projetos de redução de emissão de GEE e comercialização dos créditos de carbono fora do âmbito institucional do PK. As empresas participantes de ambas as vertentes desse mercado buscam, através da contribuição para o combate ao problema das mudanças climáticas, ganhos de legitimidade associados a marca, imagem e responsabilidade socioambiental (SEIFFERT, 2009).

Assim, os mercados de carbono existentes no mundo podem ser compreendidos sob duas vertentes: os regulados e os voluntários ou alternativos. Os mercados regulados constituem-se em ambientes institucionais nos quais os participantes estão submetidos à regulação do PK, que estabelece critérios e regras para a concepção de projetos

de MDL e a comercialização das reduções certificadas de emissões (RCE). Já os mercados voluntários podem ser entendidos como os ambientes institucionais, fora do PK, nos quais o conjunto de regras e normas para a comercialização das *verified emission reduction* (VER) emerge das relações entre os agentes participantes desses mercados, conhecidos como padrões internacionais (PI). Esses mercados vêm se expandindo no mundo com a crescente comercialização de créditos de carbono (RCE e VER), tendo como foco a redução das emissões globais (SILVA JÚNIOR, 2011).

O Brasil participa com 6% do mercado mundial de projetos de MDL, regulado pelo Protocolo de Kyoto e liderado pela China (39%) e Índia (27%). Em dezembro de 2009, durante a 15ª Conferência das Partes (COP-15) para negociar as regras pós-Kyoto, em Copenhague, o Brasil, dentre outros países emergentes, apresentou metas voluntárias de redução de GEE entre 36,1% e 38,9% até 2020. Visando patentear a seriedade desse compromisso, foi aprovada nesse mesmo ano a Lei 12.187, instituindo a Política Nacional sobre Mudança do Clima, transformando as metas voluntárias de redução de emissão de GEE, na escala internacional, em obrigação legal, na escala nacional (BRASIL, 2009).

Já em janeiro de 2011, foi a vez da Bahia sancionar a Lei 12.050, instituindo a sua Política Estadual sobre Mudança do Clima, que deve nortear a elaboração do Plano Estadual de Mudanças Climáticas, bem como dos planos municipais, programas, projetos e ações ligadas direta ou indiretamente às mudanças do clima, tais como transporte, gestão de resíduos urbanos, eficiência energética, agricultura, florestas, indústria de petróleo e gás, dentre outros (BAHIA, 2011).

Entretanto, a Bahia, diferentemente do Brasil e de outros estados nacionais, apesar das oportunidades apontadas por Ventura e Andrade (2007) e Uderman (2010) nas atividades ligadas a reflorestamento, energias renováveis, gestão de resíduos, dentre outras, ainda não vem participando de maneira ativa no mercado de carbono do país,

hospedando menos que 5% dos projetos brasileiros de redução de GEE com créditos de carbono comercializados (BRASIL, 2011).

Isto posto, considerando que o mercado de carbono é tido como o principal instrumento de governança ambiental global para o combate às mudanças climáticas, bem como se constitui em uma excelente oportunidade de novos negócios sustentáveis para as empresas e para o estado, o presente artigo tem por objetivo analisar os projetos de redução da emissão de GEE implantados na Bahia, visando recomendar medidas para o fomento desse mercado no estado.

## MERCADO REGULADO DE CARBONO

Dentre os três mecanismos econômicos oriundos do mercado regulado pelo PK, o Brasil só pode participar do MDL. Segundo o Artigo 10 do protocolo, um projeto de MDL só é considerado legítimo quando consegue reduzir as emissões de GEE através da transferência de tecnologia dos países ricos, como metas compulsórias de redução de GEE, para países anfitriões, países em desenvolvimento sem metas obrigatórias de redução de GEE até dezembro de 2012 (BRASIL, 2004).

No Brasil, o mercado de carbono vem se desenvolvendo desde 2004, quando da aprovação do primeiro projeto de MDL. Desde então, um número significativo de projetos brasileiros vem sendo desenvolvido e negociado no mercado regulado de carbono. Conforme descrito anteriormente, em junho de 2011, o país ocupava a terceira posição no ranking mundial de projetos de MDL, com 494 projetos desenvolvidos, ficando atrás apenas da China e da Índia (BRASIL, 2011).

Um dos motivos para que o Brasil figure apenas na terceira colocação é o fato de que nos dois primeiros países existe uma maior dependência de combustíveis fósseis, especialmente o carvão mineral, e, portanto, há uma maior oportunidade para viabilização de projetos de redução de GEE

nesses países do que no Brasil, que possui uma matriz energética considerada mais limpa. Um fator muito importante na estruturação de projetos de MDL é a equivalência de carbono, que representa uma medida definida em virtude do reconhecimento de que os GEE apresentam diferentes potenciais de contribuição para o aquecimento global.

Nome	Grupo	Equivalência
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono	1
CH <sub>4</sub>	Metano	21
N <sub>2</sub> O	Óxido nitroso	310
HFCs	Hidrofluorcarbonetos	140 a 11.700
PFCs	Perfluorcarbonetos	6.500 a 9.200
SF <sub>6</sub>	Hexafluoreto de enxofre	23.900

**Quadro 1**  
**Equivalência do carbono**

Fonte: Seiffert (2009).

Essa escala é usada para comparar as emissões de diversos GEE, conforme exposto no Quadro 1.

Assim, para que os projetos sejam registrados pelo Conselho Executivo de MDL (CEMDL), instituição ligada à United Nations Framework on Convention Climate Change (UNFCCC), resultando em créditos comercializáveis de carbono (RCE), devem, necessariamente, cumprir sete etapas do ciclo do projeto, dentre elas a fase de aprovação por uma entidade nacional designada (AND), conforme Quadro 2.

É justamente na primeira etapa deste ciclo, durante a elaboração do documento de concepção do projeto (DCP), conforme Lages e França (2008), que os proponentes devem realizar a descrição da atividade implementada, indicar os participantes nela envolvidos, detalhar a metodologia e linha de base adotada, relatar os cálculos de redução de GEE e apresentar o plano de monitoramento que será utilizado, entre outras informações importantes. Também nessa etapa, os proponentes devem descrever um fator considerado importante para a aprovação dos projetos de

Fase	Etapa	Responsável
0	Verificação do potencial do projeto e sua viabilidade	Proponentes do projeto
1	Elaboração de documento de concepção de projeto (DCP)	Proponentes do projeto
2	Validação do projeto	Entidade operacional designada (EOD)
3	Aprovação no âmbito nacional	Autoridade nacional designada (AND)
4	Registro do projeto	Conselho executivo do MDL
5	Monitoramento de todos os dados necessários para calcular a redução das emissões de GEE	Proponentes do projeto
6	Verificação e certificação das reduções de GEE	Entidade operacional designada (EOD)
7	Emissão de RCE de acordo com as reduções de emissões de GEE certificadas	Conselho executivo do MDL

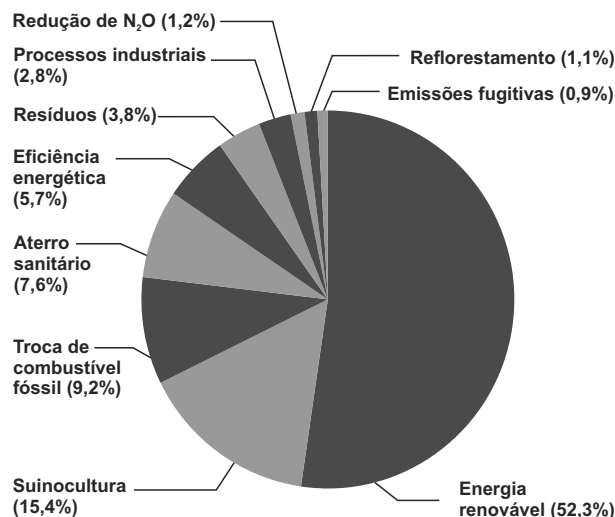
**Quadro 2**  
Ciclo dos projetos de MDL no mercado de carbono regulado

Fonte: Rocha e outros (2011).

MDL pela AND do Brasil, a Comissão Interministerial de Mudanças Globais do Clima (CIMGC): as contribuições do projeto para o desenvolvimento sustentável (BRASIL, 2008).

Para Vela e Ferreira (2005), a proposição de um projeto de MDL envolve altos custos de transação, devido ao longo ciclo de aprovação, apresentado no Quadro 2, além de riscos e incertezas, representando barreiras para uma maior participação de empresas brasileiras, principalmente as médias e pequenas empresas (MPE). Essa afirmação é ratificada pela pesquisa de Guillen (2010), que afirma que o custo médio para o desenvolvimento de um projeto de MDL varia entre US\$ 50 mil e US\$ 115 mil e seu tempo de aprovação pode variar de seis a 18 meses.

Assim, de acordo com Ávila (2010), o volume médio de recursos movimentados pelos projetos de MDL no Brasil (considerando preço médio de US\$



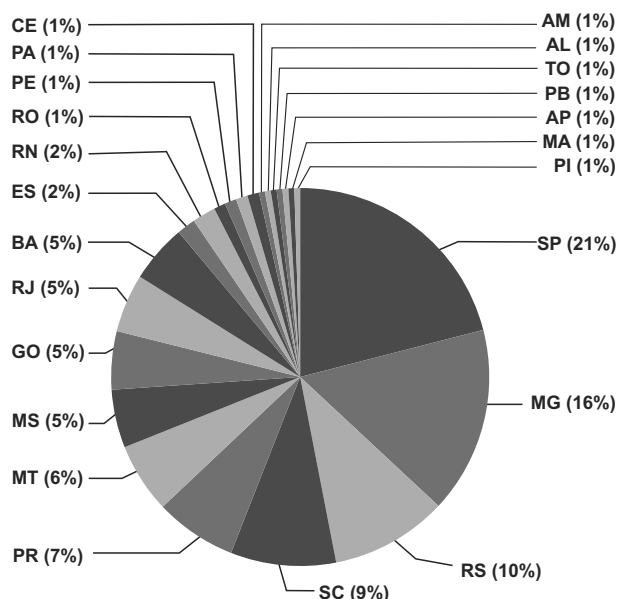
**Gráfico 1**  
Distribuição de projetos de MDL no Brasil por escopo setorial

Fonte: Brasil (2011).

10,24/t CO<sub>2</sub>eq.), no período de 2004 a 2009, foi de US\$ 214 milhões/ano, o que demonstra a importância dos projetos de MDL nos cenários econômico e socioambiental do país. Em termos setoriais, a maior parte das atividades dos projetos brasileiros (52,3%) está associada ao setor energético, seguido pela atividade de suinocultura (15,4%), de troca de combustível fóssil (9,2%) e de aterros sanitários (7,6%), conforme mostrado no Gráfico 1.

As tecnologias ambientais implementadas pelos projetos brasileiros de MDL estão assim distribuídas: queima de bagaço de cana para cogeração de energia nas usinas de açúcar e álcool; substituição de óleo diesel por gás natural nas indústrias de cimento; substituição de biomassa nativa por biomassa proveniente de florestas plantadas nas indústrias de cerâmica e siderúrgicas; instalação de centrais hidrelétricas e parques eólicos em substituição a termoelétricas a carvão mineral; queima de metano produzido por dejetos animais na suinocultura e em aterros sanitários para geração de energia elétrica; destruição catalítica de N<sub>2</sub>O nas indústrias química e petroquímica etc. (BRASIL, 2011).

No que se refere à distribuição desses projetos por região do país, a contribuição da Bahia



**Gráfico 2**  
Número de atividades de projetos do MDL no Brasil por estado

Fonte: Brasil (2011).

ainda é incipiente, visto que participa de menos de 5% do total de projetos de MDL desenvolvidos no Brasil, conforme mostra o Gráfico 2.

A Bahia tem uma posição marginal no mercado brasileiro de MDL – dominado pelos estados das regiões Sudeste e Sul –, apresentando somente 10 projetos devidamente registrados no MCT até o início de 2011, conforme mostrado no Quadro 3.

Conforme pode ser visto no Quadro 3, a Bahia conta somente com um projeto de MDL para geração de hidroeletricidade (a UHEPC implantada pela Votorantim no reservatório Pedra do Cavalo, situado na bacia do Rio Paraguaçu, nos municípios de Cachoeira e São Félix), um projeto de destruição catalítica de N<sub>2</sub>O proveniente da planta industrial de fertilizantes da Petrobras localizada no Polo Petroquímico de Camaçari (Fafen-BA), e apenas dois projetos para coleta e queima de biogás proveniente de aterros sanitários, localizados em Salvador e Feira de Santana. A maioria dos dez projetos baianos de MDL (seis) refere-se a projetos para queima de metano gerado pela digestão anaeróbica de dejetos provenientes de médias e pequenas granjas de suínos localizadas

Fase	Etapa	Responsável
1	Projeto Vega Bahia: queima de biogás de aterro sanitário	Salvador
2	Projeto Fazenda Alecrim e Funil: queima de metano produzido por dejetos animais na suinocultura	Feira de Santana
3	Projeto Agrossuínos Bons Amigos na Fazenda Bons Irmãos: queima de metano produzido por dejetos animais na suinocultura	Mata de São João
4	Projeto Fazenda Sol do Amanhecer: queima de metano produzido por dejetos animais na suinocultura	Feira de Santana
5	Projeto Granja JB: queima de metano produzido por dejetos animais na suinocultura	Ipirá
6	Projeto Janna Agropecuária Ltda: queima de metano produzido por dejetos animais na suinocultura	Feira de Santana
7	Projeto Granja Courotex Ltda: queima de metano produzido por dejetos animais na suinocultura	Candeias
8	Projeto de Biogás de Aterro Sanitário de Feira de Santana	Feira de Santana
9	Projeto de Abatimento de Óxido Nitroso Petrobras (Fafen-BA)	Camaçari
10	Projeto Votorantim: Usina Hidrelétrica Pedra do Cavalo (UHEPC)	Cachoeira e São Félix

**Quadro 3**  
Relação de projetos de MDL localizados na Bahia

Fonte: Rocha e outros (2011).

em municípios baianos próximos a Salvador. Na realidade, esses seis projetos estão contidos em um único projeto programático<sup>2</sup> de MDL, desenvolvido na época por uma empresa de consultoria de capital irlandês chamada Agcert, englobando médios e pequenos suinocultores da região. Assim, em tese, pode-se considerar que a Bahia é hospedeira de apenas cinco projetos de MDL (quatro na modalidade convencional e um programático) e todos localizados nas proximidades da Região Metropolitana de Salvador.

<sup>2</sup> Tipo de proposta que reúne em um único projeto MDL dois ou mais projetos de redução de emissão de GEE de menor escala em um mesmo escopo setorial, visando à redução dos custos de transação e do tempo de aprovação e viabilizando, assim, a participação de médios e pequenos empreendedores-proponentes.

## MERCADO VOLUNTÁRIO DE CARBONO

O mercado voluntário de carbono constitui-se em ambientes institucionais nos quais os créditos de carbono, denominados de *verified emission reduction* (VER), são negociados a partir de interesses específicos dos agentes envolvidos (governos, empresas, ONGs) e não estão vinculados às metas obrigatórias estabelecidas pelo PK (SIMONI, 2009). Para Bayon, Hawn e Hamilton (2009), o mercado voluntário de carbono possui uma lógica considerada inovadora e de menor custo, quando comparado com o mercado regulado.

Nesse tipo de mercado, a preocupação dos investidores e compradores pauta-se no gerenciamento de seus impactos em relação às mudanças do clima, sua imagem, reputação, interesses em inovações tecnológicas para redução de GEE, legitimidade, necessidade de se preparar para regulações futuras e/ou revenda de créditos de carbono (INSTITUTO BRASILEIRO DE RELAÇÕES COM INVESTIDORES, 2009). Assim, a atratividade nesses mercados está no fator credibilidade que as organizações adquirem frente a seus *stakeholders*, considerando que as principais motivações não advêm de marcos regulatórios, bem como de metas de redução de GEE a serem cumpridas. As empresas buscam um bom posicionamento no mercado em que atuam, a partir de ações legítimas de responsabilidade socioambiental, e aumento da vantagem competitiva frente a seus concorrentes (INSTITUTO CARBONO BRASIL, 2010).

O principal motor do mercado voluntário de carbono é o *boom* verde que ocorre entre as empresas norte-americanas. Assim, os papéis voluntários, comercializados fora do âmbito regulado pelo PK, movimentaram em 2009 no mundo cerca de US\$ 2,8 bilhões (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2011). De acordo com Carbon Positive (2009), no mercado voluntário de carbono, padrões internacionais (PIs) estabelecem *guidelines* para o desenvolvimento de projetos de redução de GEE pelas empresas e/ou consultorias.

Esses PIs definem diretrizes para as principais características que determinam a credibilidade e validade de projetos de redução de GEE, quais sejam contabilidade, monitoramento, verificação, certificação, registro, dentre outras (VOLUNTARY CARBON STANDARD, 2009; HAMILTON *et al.*, 2010; ECOSYSTEM MARKETPLACE, 2009).

Embora cada PI determine suas próprias regras para o ciclo de aprovação de projetos de redução de GEE no mercado voluntário, percebe-se, uma grande convergência entre elas. A maioria das regras busca garantir a transparência e a credibilidade, aspectos tão necessários para um meio sem uma instituição de regulação central como o mercado regulado de carbono. Normalmente, o ciclo de aprovação de um projeto de redução de GEE no mercado voluntário é menos burocrático e oneroso do que no mercado regulado pelo Pro-

Fase	Etapa	Responsável
0	Verificação do potencial do projeto e sua viabilidade	Proponentes do projeto
1	Elaboração do documento do projeto (PDD)	Proponentes do projeto
2	Validação e verificação das informações e cálculos informados no projeto	Entidade operacional designada (EOD)
3	Aprovação e registro do projeto	Padrão internacional de vínculo do projeto
4	Monitoramento de todos os dados necessários para calcular a redução das emissões de GEE e certificação	Proponentes do projeto
5	Certificação das reduções das emissões de GEE	Entidade operacional designada (EOD)
6	Emissão das VERs	Padrão internacional de vínculo do projeto

**Quadro 4**  
Ciclo dos projetos de redução de GEE no mercado de carbono voluntário

Fonte: Rocha e outros (2011).

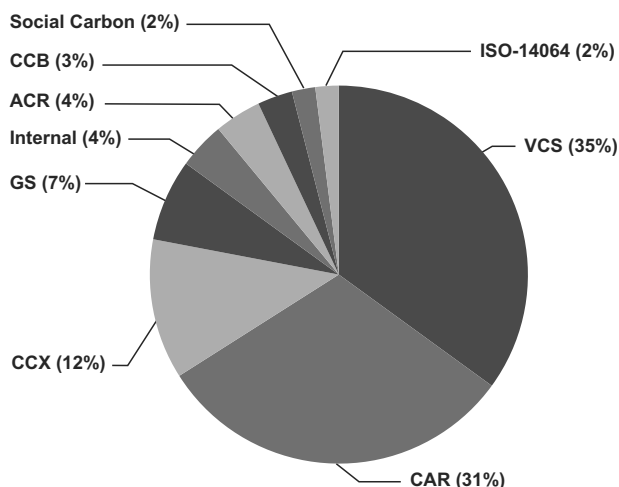
ocolo de Kyoto, seguindo as cinco etapas abaixo, conforme Quadro 4.

Antes da elaboração do projeto, é necessário que o proponente realize uma análise de sua viabilidade, que, além de verificar as questões econômicas, defina também a metodologia a ser utilizada,

ou seja, o conjunto de procedimentos a ser seguido para evidenciar a redução da emissão de GEE. A metodologia escolhida, por sua vez, acaba por direcionar a que PI o projeto deve ser submetido. Assim, depois de realizada a análise de viabilidade, o proponente – geralmente em conjunto com consultorias especializadas na elaboração desse tipo de projeto – escolhe para qual PI o projeto será registrado, após validação pela EOD – empresas de auditoria de terceira parte. O monitoramento do projeto é realizado pelos seus proponentes, seguido da verificação/certificação pela EOD. Assim, os créditos certificados são emitidos de forma única e mensurável pelo PI. Nota-se, comparando com o Quadro 2, que os PIs fazem o papel das ANDs e do Conselho Executivo do MDL, existentes no mercado regulado de carbono, diminuindo o custo de transação durante o ciclo de aprovação do projeto no mercado voluntário.

Atualmente, há mais de uma dezena de PIs que atuam no mercado voluntário de carbono mundial. No Gráfico 3 são apresentados os principais PIs e sua participação nesse mercado.

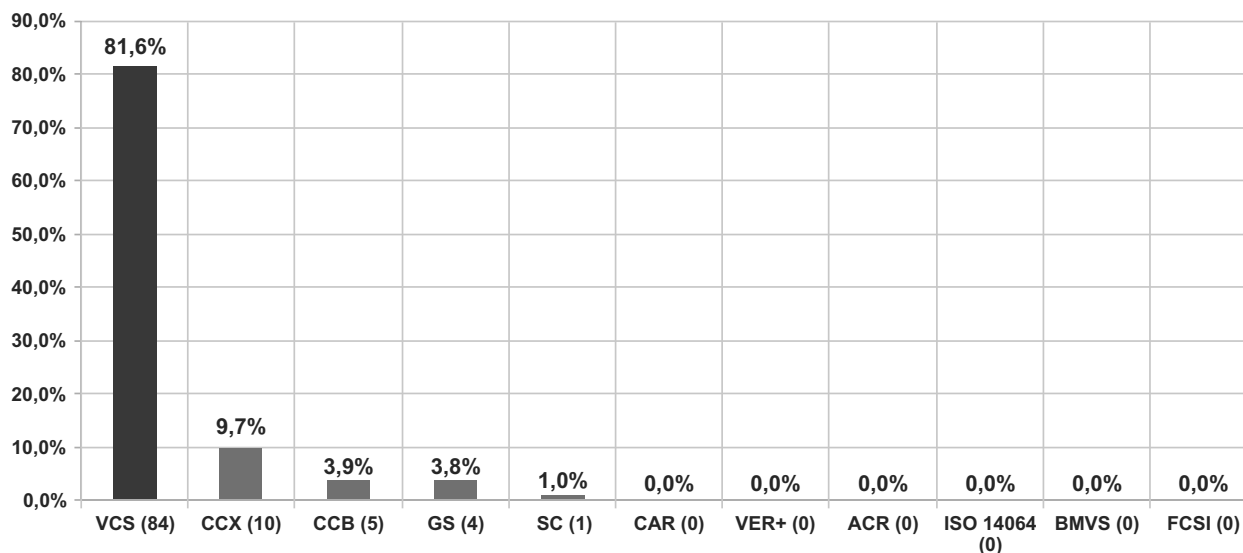
Conforme Gráfico 3, os PIs com maior participação mundial no mercado voluntário de projetos



**Gráfico 3**  
Participação dos PIs no mercado voluntário de carbono mundial

Fonte: Ecosystem Marketplace (2009).

de redução de emissões de GEE são o Voluntary Carbon Standard (VCS), com 35% dos projetos negociados, acompanhado pelo Climate Action Registry (CAR), que detém 31% das transações, a Chicago Climate Exchange (CCX), que foi responsável por 12% das transações, e o Gold Standard (GS), com 7%. Assim, verifica-se que 85% das transações mundiais ocorridas no mercado voluntário de



**Gráfico 4**  
Participação dos PIs no mercado voluntário de carbono no Brasil

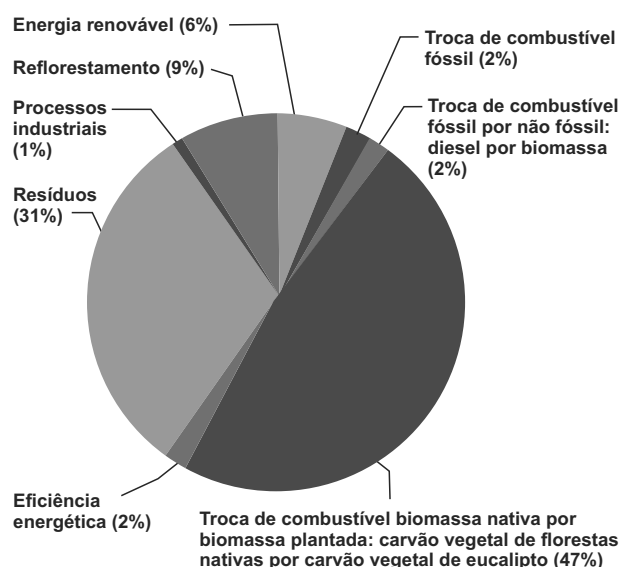
Fonte: Elaborado pelos autores a partir de Markit Environmental Registry (2011).

carbono até 2009 estão restritas a esses quatro PIs. Outros PIs com participação minoritária no mercado mundial, mas com projetos aprovados no Brasil, são o Climate, Community & Biodiversity Standards (CCB) e o Social Carbon (SC).

Analisando a participação dos PIs no mercado voluntário de carbono no Brasil, até junho de 2011, nota-se, conforme Gráfico 4, que o VCS também é o principal padrão utilizado, respondendo por 81,6% dos 104 projetos brasileiros comercializados nesse mercado, seguido da CCX, com 9,7%, CCB, com 3,9%, GS, com 3,8% e SC, com apenas 1%.

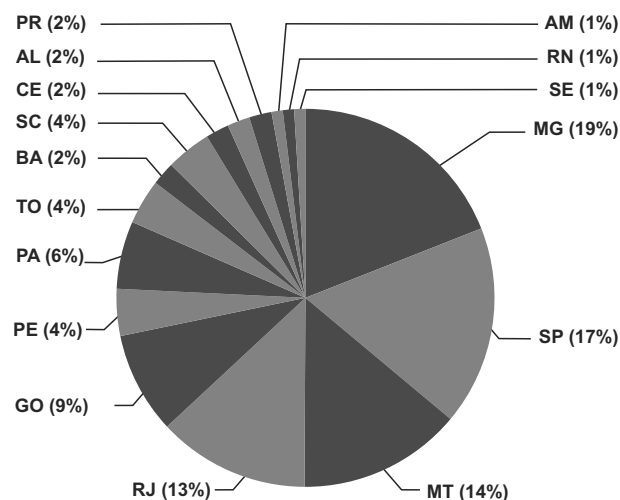
Quanto à distribuição dos projetos por escopo setorial, pode ser observado no Gráfico 5 que a troca de combustível é um dos mais significativos, representando mais da metade dos projetos desenvolvidos no mercado voluntário brasileiro (51%). A maioria dos projetos se propõe a alterar o combustível utilizado no processo produtivo, de forma a reduzir a emissão de GEE. A troca do combustível é realizada, na sua maioria, de carvão vegetal proveniente de matas nativas por carvão de eucalipto (47%) ou outras biomassas, como bagaço de cana, de coco, casca de arroz, sobras de madeira e capim elefante (4%). A indústria de cerâmica é o setor produtivo brasileiro que tem mais projetos comercializados no mercado voluntário de carbono envolvendo troca de combustível. Já a agroindústria brasileira é responsável por 31% dos projetos relacionados com o manejo e disposição adequada de resíduos provenientes da produção agropecuária. Em terceiro lugar, com 9% de participação, estão os projetos relacionados com a atividade de reflorestamento, manejo e conservação de florestas.

No tocante à distribuição regional dos projetos brasileiros do mercado voluntário de carbono, nota-se que mais da metade (63%) concentra-se nos estados de Minas Gerais (19%), São Paulo (17%), Mato Grosso (14%) e Rio de Janeiro (13%), situação semelhante à encontrada no mercado regulado, onde São Paulo e Minas Gerais lideram (Gráfico 6).



**Gráfico 5**  
Distribuição de projetos do mercado voluntário de carbono no Brasil por escopo setorial

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de *Markit Environmental Registry* (2011).



**Gráfico 6**  
Distribuição de projetos do mercado voluntário de carbono no Brasil por estados

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de *Markit Environmental Registry* (2011).

A participação da Bahia no cenário nacional desse mercado é bastante tímida, face ao seu potencial, sendo de apenas 2%, atrás do estado de Pernambuco, com 4%, com apenas dois projetos de criação de corredores ecológicos nos parques nacionais de Monte Pascoal e Pau Brasil, localizados no extremo sul do estado, conforme apresentado no Quadro 5.

Nº	Projetos baianos de redução de GEE	Município
1	Projeto Corredor Ecológico Monte Pascoal – Pau Brasil	Itabela
2	Projeto Corredor Ecológico Monte Pascoal – Pau Brasil	Porto Seguro

**Quadro 5**  
Projetos do mercado voluntário de carbono localizados no estado da Bahia

Fonte: Markit Environmental Registry (2011).

Convém salientar que se trata de um único projeto programático envolvendo dois projetos semelhantes, porém localizados em municípios baianos diferentes: Itabela e Porto Seguro.

## MERCADO DE CARBONO: ESTUDOS DE CASO NA BAHIA

Assim, dos 12 projetos baianos comercializados no mercado de carbono (dez no mercado regulado e dois no voluntário), tomou-se para realização

Nº	Mercado	Projeto	Redução de GEE (tCO <sub>2</sub> eq./ano)	Escopo setorial
1	Regulado	Projeto Vega Bahia – queima de biogás de aterro sanitário – Salvador	872.375	Aterro sanitário
2		Projeto Agrossuínos Bons Amigos na Fazenda Bons Irmãos: queima de metano produzido por dejetos de suínos – Mata de São João	14.163	Suinocultura
3		Projeto de Abatimento de Óxido Nitroso Petrobras (Fafen-BA) – Camaçari	57.366	Redução de N <sub>2</sub> O
4		Projeto Votorantim: Usina Hidrelétrica Pedra do Cavallo (UHEPC) – Cachoeira e São Félix	59.485	Energia renovável
1	Voluntário	Projeto Corredor Ecológico Monte Pascoal – Pau Brasil – Itabela e Porto Seguro	210	Reflorestamento

**Quadro 6**  
Amostra dos projetos do mercado de carbono na Bahia para realização de estudos de caso

Fonte: Brasil e Markit Environmental Registry (2011).

de estudos de caso ilustrativos uma amostra representativa composta de cinco projetos, conforme Quadro 6.

Sendo assim, apresenta-se, a seguir, uma breve análise da amostra de cinco projetos, representando 42% do universo dos 12 projetos baianos negociados no mercado de carbono e responsáveis pela redução de cerca de 1 milhão de toneladas de CO<sub>2</sub>eq./ano. Quatro são projetos de MDL que representam o mercado regulado de carbono baiano (um projeto de cada um dos quatro principais escopos setoriais desse mercado na Bahia) e um projeto de reflorestamento pertencente ao mercado voluntário de carbono. Isto se explica devido ao fato de que o mercado voluntário ainda representa um percentual muito pequeno do mercado de carbono global, que é dominado pelo mercado regulado.

### Votorantim Energia: Usina Hidrelétrica Pedra do Cavallo (UHEPC)

O Grupo Votorantim é hoje uma *holding*, denominada Votorantim Participações (VPar), que em 2004, mediante uma concorrência pública promovida pela Agência Nacional de Energia Elétrica, tornou-se responsável pela execução do projeto da Usina Hidrelétrica Pedra do Cavallo (UHEPC), situada na bacia do Rio Paraguaçu, nos municípios de Cachoeira e São Félix, no estado da Bahia. A média anual das reduções estimadas de CO<sub>2</sub>eq. corresponde a 59.485 t/ano e a geração de energia na ordem de 494.064 MW/ano (GRUPO VOTORANTIM, 2011).

O projeto de MDL constitui-se na instalação de uma central hidrelétrica no reservatório existente na barragem Pedra do Cavallo, em que tanto o volume quanto a área inundada do reservatório não foram aumentados. O plano incluiu a construção de subestações elétricas e a instalação de turbinas e geradores com capacidade instalada de 160 MW. Esse projeto, assim como os demais de MDL, propõe não só redução da emissão de GEE, como



também benefícios sociais, ambientais e econômicos (GRUPO VOTORANTIM, 2006).

Segundo o gestor operacional do projeto<sup>3</sup>, no aspecto social, destacam-se os benefícios quanto à primeirização da força de trabalho da usina, sendo todos os funcionários incorporados ao Grupo Votorantim, melhorias na infraestrutura local dos municípios, capacitação de profissionais para operação e manutenção da usina e utilização de parte dos recursos oriundos da venda dos créditos de carbono para construção de praças públicas e promoção de projetos sociais, como a construção das casas do mel e das ceramistas no município de Cachoeira. No aspecto ambiental, além da redução da emissão de GEE, o projeto de MDL da Votorantim contribui para a preservação da fauna e flora na área de abrangência do empreendimento e o reflorestamento da mata ciliar. Já no aspecto econômico, além da geração de tributos para o estado da Bahia e para alguns municípios situados na área de influência do empreendimento, como Cachoeira, São Felix e Muritiba, o projeto adquiriu quase que a totalidade dos equipamentos no Brasil, contribuindo assim para a economia nacional.

A principal barreira para a implantação do projeto consistiu no excesso de burocracia para obtenção de financiamentos em bancos públicos de fomento. Já quanto às principais motivações do Grupo Votorantim para o desenvolvimento do projeto, destacaram-se os aspectos de diversificação das atividades do grupo empresarial, a crise energética que o Brasil atravessou no ano de 2001 e, principalmente, o fato de a usina servir como fonte de energia para as plantas cimenteiras pertencentes ao grupo situadas na Região Nordeste. Sinalizando a importância das políticas públicas nacionais para o desenvolvimento de projetos de MDL no Brasil, esse projeto contou com financiamento público por parte do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e contribuiu para o estreitamento

das relações entre o governo federal – por meio do Operador Nacional do Setor Elétrico (ONS) – e o Grupo Votorantim, para o fornecimento de energia elétrica no país.

No tocante à relação com as comunidades locais, destacou-se o processo de audiências públicas realizadas, por exigência da legislação ambiental, pelo Grupo Votorantim, para explicar o projeto MDL nos 12 municípios que pertencem à área de influência, assim como o programa de visitas ao empreendimento e de educação ambiental, que é oferecido tanto à comunidade como a estudantes de universidades.

### **Vega Engenharia Ambiental S.A.**

A Vega Engenharia Ambiental S.A., pertencente à *holding* Solvi, é reconhecida como uma das maiores companhias de limpeza urbana do país, especializada em gestão de resíduos, saneamento e valorização energética. O Projeto Vega, implantado em 2004, consiste na instalação de equipamentos (*flares* enclausurados) para a queima controlada do biogás gerado pelo Aterro Metropolitano Centro, no município de Salvador, reduzindo, assim, a emissão de metano para a atmosfera em 872.375 toneladas de CO<sub>2</sub>eq./ano e com capacidade de cogeração de 20 MW de energia (VEGA ENGENHARIA AMBIENTAL, 2011).

Com capacidade de dispor 2.700 t/d de resíduos urbanos domésticos, esse foi um dos primeiros projetos de MDL a cumprir todas as fases necessárias até a emissão dos créditos de carbono (BAHIA TRANSFERÊNCIA E TRATAMENTO DE RESÍDUOS, 2004). Para o engenheiro<sup>4</sup> responsável pelo projeto, esse pioneirismo foi considerado mais ônus do que bônus, em razão da dificuldade de cumprir todas as etapas do ciclo do projeto, em um contexto de ineditismo do MDL no Brasil, com poucas informações e regulamentações disponíveis. A principal motivação para a criação do projeto de MDL foi financeira, aliada à obtenção de

<sup>3</sup> Informação verbal de Ernani Carvalho, 2009.

<sup>4</sup> Informação verbal de Mark Zulauf, 2009.

recursos pela venda de créditos de carbono para a implantação de mudanças tecnológicas incrementais no aterro. À época, o projeto contribuiu para a utilização de uma nova tecnologia no tratamento dos resíduos urbanos no Brasil: foi a primeira empresa a utilizar uma geomembrana, instalada sobre toda a área superior do aterro sanitário e adaptada para as necessidades do clima tropical brasileiro, buscando a intensificação do processo de decomposição dos resíduos, aumentando a geração de biogás (metano) e evitando emissões fugitivas de GEE para a atmosfera. As principais barreiras estavam associadas ao pioneirismo em MDL do projeto, com os elevados custos dos diferentes serviços de consultorias para a elaboração do DCP e a falta de um arcabouço institucional claro por parte dos órgãos reguladores nacionais.

Em março de 2011 foi oficialmente inaugurada no aterro da Vega a Termoverde Salvador, em operação desde novembro de 2010. O Grupo Solvi investiu R\$ 50 milhões na construção da usina, primeira do gênero no Nordeste, com financiamento do Banco do Nordeste do Brasil e incentivo fiscal do governo da Bahia, por meio do Programa Desenvolve. A usina é composta por 19 motogeradores a biogás, com potência de 1.038 KW cada, totalizando uma potência instalada de 20 MW e geração líquida de aproximadamente 8 MW. Toda a energia gerada pela Termoverde Salvador já é comercializada independentemente da Coelba para cinco grandes clientes: uma rede de shopping centers, uma operadora de telefonia e três shopping centers.

O projeto está associado à política de responsabilidade social e ambiental da empresa e promove alguns benefícios nas áreas social, ambiental e econômica: a) socialmente, além da capacitação de profissionais na tecnologia de aproveitamento energético do biogás de aterro e do

aperfeiçoamento dos serviços prestados por fornecedores de equipamento específicos para essa tecnologia, 5% do valor dos resultados líquidos da venda de créditos de carbono é destinado ao

fomento de ações sociais, como a programação semanal de visitas de estudantes da rede escolar pública e privada, com atividades recreativas baseadas na filosofia da educação ambiental, a promoção de inclusão

digital e o estabelecimento de convênios de pesquisa com universidades; b) socioambientalmente, foram promovidos programas de capacitação e profissionalização de comunidades carentes do entorno do aterro, de exercício de cidadania e de promoção do desenvolvimento autossustentável. Também, realizou-se o reflorestamento da mata ciliar na área de influência do projeto, ensejando a manutenção da qualidade da água do lençol freático e das lagoas próximas; c) economicamente, ressaltaram-se a geração de tributos para os três níveis de governo, visto que o Banco Central do Brasil, quando o projeto foi implantado, em 2004, desconhecia o procedimento para nacionalizar os recursos provenientes da venda dos créditos de carbono, optando a empresa em pagar a totalidade de tributos passíveis de incidência na referida operação. No aspecto tecnológico, foi evidenciada a autossuficiência na geração da energia consumida no aterro, como um produtor independente de energia (PIE) com outorga da Aneel e venda do excedente para a concessionária local de energia (Coelba), além do desenvolvimento do gerador flex (biogás e óleo diesel) e a compra, à exceção dos sopradores, de equipamentos e serviços no mercado nacional.

**A primeira empresa a utilizar uma geomembrana, instalada sobre toda a área superior do aterro sanitário e adaptada para as necessidades do clima tropical brasileiro**

**Agrossuínos Bons Amigos**

A Fazenda Bons Amigos, localizada no município de Mata de São João, ingressou em 2004

na suinocultura com o projeto Agrossuínos Bons Amigos. Atualmente, segundo o gerente do projeto<sup>5</sup>, trata-se de uma empresa de médio porte, com 500 matrizes e 6.000 animais. Esse projeto MDL estima uma redução na ordem de 14.163 toneladas de CO<sub>2</sub>eq /ano, através da queima controlada do biogás gerado pela digestão anaeróbica dos dejetos dos suínos, resultando em outros benefícios ambientais, como melhoria da qualidade dos recursos hídricos, redução de odor, redução do risco de vetores transmissores de doenças por via aérea, e, principalmente, geração do biofertilizante, que é um subproduto desse processo (AGCERT DO BRASIL SOLUÇÕES AMBIENTAIS, 2005).

Quanto aos benefícios sociais, houve pouca geração de emprego e renda, até mesmo pela empresa ser de médio porte<sup>6</sup>. A instalação de uma creche para os filhos dos empregados e da comunidade local constitui um benefício social oriundo desse projeto de MDL. Já quanto aos benefícios econômicos, pode-se destacar o crescimento da produção de suínos, a qualificação dos fornecedores e a compra de equipamentos e serviços de engenharia no mercado brasileiro. A Agcert, empresa internacional de consultoria especializada em projetos de MDL em suinocultura, foi responsável pelo projeto de engenharia e pelos trâmites burocráticos para a aprovação do projeto. A empresa patrocinou toda a compra de equipamentos, instalação e o fornecimento do *know-how* necessário para a operação do projeto. Em troca, ficava com 90% dos recursos oriundos da venda dos créditos de carbono. Contudo, em decorrência da crise econômica de 2008 e de erros cometidos, com estimativas superavaliadas da quantidade de créditos a serem recebidos pelos projetos programáticos de suinocultura no Brasil, a consultoria faliu e foi incorporada pela empresa americana AES.

<sup>5</sup> Informação verbal de Gilson Costa, 2009.

<sup>6</sup> Informação verbal de Gilson Costa, 2009.

## Petrobras – Fafen–BA

O projeto de MDL em análise foi desenvolvido pela unidade da Petrobras denominada Fábrica de Fertilizantes Nitrogenados da Bahia (Fafen–BA), que produz fertilizantes nitrogenados e matérias-primas para plantas petroquímicas, estando localizada no Polo Petroquímico de Camaçari, no estado da Bahia. A atividade do projeto visa à destruição catalítica do N<sub>2</sub>O formado pelo processo de oxidação de amônia na planta de ácido nítrico da Fafen-BA, com estimativa de redução de 57.366 toneladas CO<sub>2</sub>eq./ano (PETROBRAS, 2008, 2011).

Não houve grandes barreiras para o desenvolvimento deste projeto, salvo atraso no seu ciclo de aprovação (cerca de 18 meses), devido ao descenciamento da certificadora DNV pela UNFCCC, além de dificuldades inerentes à transferência da tecnologia do catalisador, que foi desenvolvido por uma empresa alemã sob medida para a especificação da corrente de N<sub>2</sub>O da Fafen–BA. Já as motivações para o desenvolvimento do projeto foram representadas pela oportunidade de redução de GEE, quando da realização, pela Petrobras, do seu inventário corporativo de emissões atmosféricas, contribuindo para a melhoria da imagem de responsabilidade socioambiental da empresa<sup>7</sup>.

Por se tratar da instalação no final do processo de um reator catalítico para destruição do N<sub>2</sub>O gerado pela oxidação da amônia, o projeto adota uma estratégia tecnológica ambiental *end-of-pipe*, que não atua na diminuição da geração de GEE, somente no seu tratamento. Foi contratada uma consultoria americana, a MGM International Ltda, para auxiliar no processo de elaboração do DCP do projeto, e o catalisador, considerado o insumo fundamental do projeto, foi importado da Alemanha. Já o projeto de engenharia, juntamente com a especificação/compra no mercado nacional de equipamentos e instrumentos acessórios, foi realizado pela própria Fafen–BA.

<sup>7</sup> Informação verbal de Elias Braga, 2009.

Verificou-se que a contribuição do referido projeto para o desenvolvimento sustentável da sua área de influência é baixa. Não houve significativa geração de emprego e renda, destacando-se a capacitação de cerca de 20 profissionais na operação/manutenção do projeto como o componente social mais preponderante. Já no componente ambiental, a principal contribuição é a redução da emissão de GEE e a destinação de 5% dos recursos oriundos da venda dos créditos de carbono para a promoção de projetos de educação ambiental nas comunidades locais. O aumento da competitividade e da legitimidade da Fafen-BA em função de uma melhoria da sua imagem corporativa, aliado a um melhor controle operacional e eficiência da planta devido ao monitoramento contínuo e sistemático da geração de  $N_2O$ , é o principal benefício do componente econômico do projeto MDL (PETROBRAS, 2008).

### **Corredor Ecológico Monte Pascoal – Pau Brasil**

Esse projeto, localizado na cidade de Itabela, no sul da Bahia, teve início em 2009 e constitui a primeira etapa de um regime global de reflorestamento visando à criação de um corredor ecológico que unirá dois importantes fragmentos protegidos da floresta de mata atlântica: os parques nacionais de Pau Brasil e de Monte Pascoal. O projeto foi desenvolvido por uma rede de instituições formada pela The Nature Conservancy (TNC), Conservação Internacional (CI), Instituto Bioatlântica, Instituto Cidade, Grupo Ambiental Naturezabela, Associação dos Povos Nativos de Caraíva (Anac), Associação Comunitária Beneficente de Nova Caraíva (Asc-benc) e Cooperativa de Reflorestadores de Mata Atlântica do Extremo Sul da Bahia (CooPlantar). O projeto foi registrado pelo padrão internacional (PI) Climate, Community and Biodiversity (CCB, 2011) e verificado/certificado pela Rainforest Alliance.

O objetivo principal desse projeto é restaurar a integridade ambiental de uma área delimitada entre os parques nacionais de Pau Brasil e de Monte Pascoal nos municípios de Itabela e Porto

Seguro. A área reflorestada constitui-se em um fragmento que, por conta da implantação de vários empreendimentos de criação extensiva de gado na região, acabou por perder parte da mata nativa. Para alcançar o objetivo proposto, as áreas degradadas foram restauradas através do plantio de espécies nativas. O projeto conta com o envolvimento de diversos *stakeholders*, considerando os moradores locais, proprietários rurais e as organizações envolvidas na sua implementação, de forma a contribuir com as comunidades afetadas (capacitação, renda) e para a preservação do meio ambiente (promoção da biodiversidade e proteção de bacias hidrográficas).

O projeto, de pequena escala, tem duração estimada de 30 anos e prevê uma redução de apenas 210 toneladas de  $CO_2eq./ano$ . Como a maioria da área reflorestada foi usada principalmente para o gado, em operações de baixa produtividade (pequenos pastos), o projeto também prevê benefícios sociais ao legalizar as terras de vários proprietários rurais (THE NATURE CONSERVANCY, 2009).

Dentre os principais benefícios para a região, estão os ambientais, considerando a contribuição do projeto para a mitigação das mudanças climáticas, reflorestamento de áreas degradadas, aumento das chances de permanência regional de espécies endêmicas e ameaçadas; benefícios sociais, com a geração de emprego e renda, bem como inclusão e capacitação de agricultores locais e fortalecimento de associações locais; e benefícios econômicos, com a geração de receita com as vendas dos créditos de carbono, a ser revertida para as comunidades locais (CARBONPOSITIVE, 2009).

### **CONSIDERAÇÕES E RECOMENDAÇÕES FINAIS**

O presente artigo teve por objetivo analisar os projetos implantados tanto no mercado de carbono regulado como no voluntário no estado da Bahia.

Para isso, foi realizada pesquisa bibliográfica, documental e exploratória em ambos os mercados de carbono. Além disso, foram realizados cinco estudos de caso ilustrativos representativos do universo dos 12 projetos baianos comercializados nos mercados de carbono.

Verificou-se que o mercado de carbono, seja ele na vertente regulada ou na voluntária, pode constituir-se em um instrumento econômico de extrema importância na viabilização da redução das emissões de GEE, contribuindo, assim, para a mitigação das mudanças climáticas através de transferência de tecnologias mais limpas e promovendo avanços no desenvolvimento sustentável do estado.

Contudo, percebe-se que a participação da Bahia no mercado de carbono brasileiro pode ser considerada ainda como modesta (menos de 5%) e que a implementação de políticas públicas estaduais de incentivo ao desenvolvimento desses projetos traria benefícios para a promoção do desenvolvimento sustentável, tais como previstas, desde janeiro de 2011, pela Lei 12.050, que instituiu a Política Estadual de Mudanças Climáticas. A Bahia possui grande potencial para desenvolvimento de projetos de redução de GEE em escopos setoriais do mercado de carbono já consolidados em outros estados brasileiros. Face à grande pressão sobre os fragmentos remanescentes de mata atlântica, há oportunidades de implantação de mais projetos de corredores ecológicos e de troca de combustível proveniente de mata nativa por florestas plantadas ou resíduos de biomassa provenientes da agricultura. A obtenção de créditos de carbono na implantação de projetos de parques eólicos constitui-se em mais um incentivo para a consolidação dessa emergente indústria na Bahia, aproveitando-se a oportunidade dada pela existência de grandes jazidas de vento na região da Chapada Diamantina, no sudoeste do estado. O primeiro parque eólico da Bahia está previsto para entrar em operação no final de 2011, no município de Brotas de Macaúbas. Cabe, portanto, fomentar mais as diversas possibilidades de replicação no estado de projetos

bem-sucedidos de redução de GEE já existentes no Brasil e no mundo, como também de projetos inovadores e mais ecoeficientes.

Há de se considerar também a importância do papel das políticas públicas nacionais e regionais de financiamento na implantação de projetos de redução de GEE, tais como o fortalecimento do Proinfra e a expansão de linhas exclusivas de financiamento em bancos de fomento público, como BNDES e Banco do Nordeste. Outra necessidade proeminente é de uma maior articulação institucional para a disseminação de informações e fomento a projetos de redução de emissão de GEE nos mercados regulado e voluntário de carbono no estado. Hoje, uma das maiores dificuldades reside no desconhecimento, por parte dos potenciais proponentes de projetos de redução de GEE na Bahia, tanto das regras para elaboração/aprovação de projetos, quanto dos mecanismos de financiamento para a implantação dos empreendimentos e posterior comercialização dos créditos de carbono gerados nos mercados de carbono.

Considerando-se também que os projetos de redução de GEE existentes tanto no Brasil quanto na Bahia localizam-se em territórios menos vulneráveis ao fenômeno das mudanças climáticas, recomenda-se que as políticas públicas de incentivo ao mercado de carbono priorizem o desenvolvimento de projetos em regiões mais vulneráveis, como, por exemplo, o semiárido do Nordeste brasileiro, como uma forma de melhorar a distribuição desses projetos nos territórios subnacionais e intraestaduais.

Por fim, recomenda-se a realização de estudos futuros comparando a experiência baiana com relação aos principais estados anfitriões de projetos de redução de GEE no Brasil (São Paulo e Minas Gerais) quanto à contribuição desses projetos negociados nos mercados de carbono para a geração de tecnologias mais limpas em prol do desenvolvimento sustentável, considerando-se o tipo de tecnologia, a quantidade de créditos de carbono obtidos e a taxa de retorno dos investimentos realizados.

## REFERÊNCIAS

- AGCERT DO BRASIL. *Documento de concepção do projeto Agrossuínos Bons Amigos*. 2005. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/58276.html>>. Acesso em: 30 mar. 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Apresentação dos modelos existentes para mercado voluntário de carbono*. [São Paulo], 2011. Disponível em: <<http://www.abnt.org.br>>. Acesso em: 29 mar. 2011.
- ÁVILA, F. *Estudo traça cenário do mercado de carbono florestal*. 2010. Disponível em: <<http://mercadoetico.terra.com.br/arquivo/estudo-traca-cenario-do-mercado-de-carbono-florestal/>>. Acesso em: 15 abr. 2010.
- BAHIA TRANSFERENCIA E TRATAMENTO DE RESÍDUOS - BATTRE. *Documento de concepção do projeto Vega Bahia*. 2004. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/58108.html>>. Acesso em: 10 jun. 2009.
- BAYON, R.; HAWN, A.; HAMILTON, K. *Voluntary Carbon Markets: an international guide to what they are and how they work*. 2. ed. London: Earthscan, 2009.
- BAHIA. Lei nº 12.050, de 07 de Janeiro de 2011. Institui a política sobre mudança do clima do Estado da Bahia. *Diário Oficial do Estado da Bahia*, Salvador, 7 jan. 2011. Disponível em: <[http://www.semarrh.ba.gov.br/upload/lei\\_clima.pdf](http://www.semarrh.ba.gov.br/upload/lei_clima.pdf)>. Acesso em: 14 jan. 2011.
- BRASIL. Lei nº 12.187, de 29 de Dezembro de 2009. Política nacional sobre mudança do clima – PNMC e dá outras providências. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 29 dez. 2009. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/projetos/PL/2008/msg345-080605.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/projetos/PL/2008/msg345-080605.htm)>. Acesso em: 14 jan. 2010.
- BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. *Status atual das atividades de projeto no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) no Brasil e no Mundo*. [Brasília], 2011. Disponível em: <[http://www.mct.gov.br/upd\\_blob/](http://www.mct.gov.br/upd_blob/)>. Acesso em: 30 mar. 2011.
- \_\_\_\_\_. *Manual para submissão de atividades de projeto no âmbito do MDL*. Brasília, 2008. Versão 2.
- \_\_\_\_\_. Senado Federal. *Protocolo de Quioto e legislação correlata*. Brasília, DF: Subsecretariado de Edições Técnicas, 2004. (Coleção Ambiental, v. 3).
- CARBONPOSITIVE. *Standards now integral to voluntary carbon market*. 2009. Disponível em: <<http://www.carbon.org.za/newsitem.php?itemid=144>>. Acesso em: 9 mar. 2011.
- CCB. *The Climate, Community and Biodiversity Project Design Standards*. 2011. Disponível em: <<http://www.climate-standards.org>>. Acesso em: 3 mar. 2011.
- ECOSYSTEM MARKETPLACE. *Program Assistant, Climate Action Reserve (CAR)*. 2009. Disponível em: <<http://www.ecosystemmarketplace.com/pages/dynamic/web.page.php?page>>. Acesso em: 9 mar. 2011.
- GRUPO VOTORANTIM. *Site Institucional*. Disponível em: <<http://www.votorantim.com.br>>. Acesso em: 8 jun. 2011.
- \_\_\_\_\_. *Documento de concepção do projeto Votorantim Energia: Usina Hidrelétrica Pedra do Cavalo (UHEPC)*. 2006. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/58230.html>>. Acesso em: 6 jan. 2009.
- GUILLEN, C. M. *Contribuições de atividades de mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL) ao desenvolvimento sustentável do Brasil*. 2010. Dissertação (Mestrado em Administração) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.
- HAMILTON, K. et al. *Building Bridges: state of the voluntary carbon markets 2010*. Ecosystem Marketplace & Bloomberg New Energy Finance, 2010.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE RELAÇÕES COM INVESTIDORES – IBRI. *O Mercado de Carbono*. 2009. (Cadernos IBRI. Série Sustentabilidade). Disponível em: <<http://www.ibri.com.br/download/publicacoes>>. Acesso em: 28 jan. 2010.
- INSTITUTO CARBONO BRASIL. *Mercado voluntário*. 2010. Disponível em: <[http://www.carbonobrasil.com/#mercado\\_de\\_carbono](http://www.carbonobrasil.com/#mercado_de_carbono)>. Acesso em: 25 maio 2010.
- LAGES, R. T.; FRANÇA, S. L. B. Proposta de estratégia para implementação de um projeto de mecanismo de desenvolvimento limpo. In: CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO, 2008, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro, 2008.
- MARKIT ENVIRONMENTAL REGISTRY. *Registered Projects*. 2011. Disponível em: <<http://www.markit.com/en/products/registry/>>. Acesso em: 7 abr. 2011.
- THE NATURE CONSERVANCY-TNC. The Monte Pascoal – Pau Brasil Ecological Corridor. *Documento de concepção do projeto*. 2009. Disponível em: <<http://www.markit.com/en/products/registry/>>. Acesso em: 7 maio 2011.
- PETROBRAS. FAFEN-BA. *Site Institucional*. Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br>>. Acesso em: 19 jun. 2011.
- \_\_\_\_\_. *Documento de concepção do projeto FAFEN-BA*. 2008. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/300411.html>>. Acesso em: 8 mar. 2009.
- ROCHA, A. et al. Mercado global de créditos de carbono: estudo comparativo entre as vertentes reguladas e voluntárias. In: CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO, 2011, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro, 2011.
- SEIFFERT, M. E. B. *Mercado de carbono e Protocolo de Quioto: oportunidades de negócio na busca da sustentabilidade*. São Paulo: Atlas, 2009.

SILVA JUNIOR, A. C. *Projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL): promotores de transferência de tecnologia e tecnologias mais limpas no Brasil*. Tese (Doutorado) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Industrial, Faculdade Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2011.

SIMONI, W. F. Mercado de Carbono. In: FUJIHARA, M. C.; LOPES, F. G. *Sustentabilidade e mudanças climáticas: guia para o amanhã*. São Paulo: Editora Senac, 2009.

UDERMAN, S. Mercado de crédito de carbono: a construção de uma agenda de intervenção pública na Bahia. *Revista Econômica do Nordeste*, Fortaleza, v. 41, p. 127-147, 2010.

VEGA ENGENHARIA AMBIENTAL. *Site Institucional*. [São Paulo], 2011. Disponível em: <<http://www.vega.com.br>>. Acesso em: 10 nov. 2011.

VELA, J. A. A.; FERREIRA, E. Vantagem competitiva do Brasil nos projetos de MDL. In: ENCONTRO NACIONAL DE GESTÃO EMPRESARIAL E MEIO AMBIENTE, 8., 2005, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro, 2005.

VENTURA, A. C.; ANDRADE, J. C. S. O Protocolo de Kyoto: oportunidades de negócios para a Bahia. *Revista Desenharia*, Salvador, v. 4, p. 25-44, 2007.

VOLUNTARY CARBON STANDARD- VCS. *O Programa VCS: garantia de qualidade para o mercado de carbono*. 2009. Disponível em: <<http://www.v-c-s.org>>. Acesso em: 2 fev. 2011.

Artigo recebido em 23 de agosto de 2011  
e aprovado em 30 de setembro de 2011.





# O papel dos programas ambientais voluntários nas políticas de redução dos gases do efeito estufa nos países em desenvolvimento: perspectivas do Brasil, Índia e Vietnã<sup>1</sup>

*Roberto Rivas Hermann\**

\* Doutorando e mestre em Estudos Ambientais pela Aalborg University. [rrh@plan.aau.dk](mailto:rrh@plan.aau.dk)

## Resumo

Programas ambientais voluntários, ou *voluntary environmental programs* (VEP), têm sido largamente utilizados como instrumentos de redução de emissão de gases de efeito estufa em países desenvolvidos. Entretanto, seu papel nos países em desenvolvimento ainda é pouco estudado. Pesquisas anteriores foram conduzidas para estudos de casos comparativos, a fim de construir conhecimento sobre esse assunto. Neste trabalho, quatro estudos de caso no Brasil, Vietnã e Índia foram analisados através de entrevistas e documentos. As principais descobertas sugerem que os critérios de qualidade dos programas e as diretrizes para o envolvimento das indústrias são frequentemente diversificados. Embora o estudo não levante, de forma quantitativa, a eficiência dos programas na redução das emissões de gases do efeito estufa das indústrias participantes, dados qualitativos foram utilizados como uma opção para a avaliação da credibilidade desses programas. Os resultados sugerem que os programas ambientais voluntários industriais nos países em desenvolvimento podem ser instrumentos complementares confiáveis. Adicionalmente, podem aumentar sua credibilidade e aceitação pública sob as seguintes condições: envolvimento em um contexto industrial, o que aumenta sua credibilidade; engajamento nos instrumentos apropriados de comando e controle ou de mercado; motivação da própria indústria para participar; e critérios de qualidade na elaboração do projeto.

**Palavras-chave:** Programas ambientais voluntários. Mudanças climáticas. Países em desenvolvimento. Política ambiental.

<sup>1</sup> N. do A.: Este artigo inclui um estudo comparativo entre quatro casos que foram compilados com base na escrita de autores diferentes (*Namitha Kumar Swamy, Binh Vu Ngan, Paula Queiroz de Aquino*): assim, o caso brasileiro foi escrito por um brasileiro, o da Índia por um indiano, os do Vietnã por um vietnamita. O autor principal, não poderia ter desenvolvido o artigo sem a co-autoria completa.

**Abstract**

*Voluntary environmental programs have been widely used as greenhouse gas reduction instruments in developed countries. However, their role in developing countries has been understudied. Previous research has called for comparative case studies to build knowledge on this topic. In this article, four case studies from Brazil, Vietnam, and India are analyzed through interviews and documents. The main findings suggest that the programs' quality criteria and the directives for industry involvement are often varied. Although the study did not quantitatively assess the programs' effectiveness in reducing the participants' greenhouse emissions, qualitative proxies have been used as an option for assessing the credibility of these programs. The results suggest that voluntary environmental programs for industries in developing countries can be credible complementary policy instruments. Further, voluntary programs can increase their credibility and public acceptance under the following conditions: if they are embedded in an institutional context which enhances their credibility; if they are matched with the appropriate command-and-control or market instruments; if the industry itself is motivated to participate; and if certain quality criteria are included in the program's design.*

**Keywords:** *Voluntary environmental programs. Climate change. Developing countries. Environmental policy*

## INTRODUÇÃO

Durante a última década, instrumentos nacionais e internacionais foram estabelecidos para reduzir a emissão de gases de efeito estufa (GEE) e, dessa forma, mitigar as causas das mudanças climáticas. De acordo com Sullivan (2008, p. 335), as alterações no clima

não podem ser detidas a menos que seja feita uma combinação de diferentes instrumentos políticos. Assim, os instrumentos tradicionais de comando e controle, bem como os de comércio de emissões (*cap-and-trade*), podem ter um papel secundário na solução, ampliando-se o espaço para a combinação de incentivos financeiros e abordagens voluntárias.

As abordagens voluntárias relativas às mudanças climáticas podem ocorrer por ação de agentes governamentais ou pelo resultado de iniciativas setoriais unilaterais. O primeiro grupo inclui programas de incentivo público sobre a emissão industrial de GEE (GLACHANT; DE MUIZON, 2007; MORGENSTERN; PIZER; SHIH, 2007; APIGIAN, 2008; OSMOND, 2002; KRARUP; MILLOCK, 2007). Os programas ambientais voluntários (VEP) setoriais são iniciativas unilaterais, lançadas por indústrias, específicas para reduzir sua emissão de GEE dentro de um ou diversos países (BUSCH; KLEE; HOFFMAN, 2008, p. 204-205). Nos países em desenvolvimento, devido à falta de metas compulsórias de redução de GEE e à premissa de que nenhum outro instrumento político deve ser aplicado, as abordagens voluntárias são previstas pelos regulamentadores como o único instrumento político disponível para iniciar ações concretas para reduzir essas emissões. Em um estudo no México, Ozawa-Meida, Fransen e Jiménez-Ambriz (2008, p. 133) concluem que as abordagens voluntárias não devem ser consideradas como substitutas dos instrumentos convencionais de comando e controle, nem a implantação do VEP pode pretender exclusividade quando o objetivo é reduzir as emissões de GEE.

### **As alterações no clima não podem ser detidas a menos que seja feita uma combinação de diferentes instrumentos políticos**

O risco de as abordagens voluntárias se tornarem “esgotadas” para os interessados é parcialmente devido à falta de evidências de como implantar esses programas com sucesso (BLACKMAN *et al.* 2009, p. 54). Os principais problemas associados à falta de estudos sobre programas voluntários são os conjuntos de políticas equivocadas para a redução de emissões

de GEE em países em desenvolvimento e o desperdício de recursos naturais e financeiros. Adicionalmente, um programa voluntário mal projetado pode conferir vantagens competitivas para grandes corporações que habitualmente já contam com boas práticas. Além disso, a eficiência destes instrumentos de redução de emissões de GEE não é clara. Portanto, Blackman (2008, p. 138) recomenda estudos que comparem diferentes tipos de VEPs em diferentes países em desenvolvimento.

Embora estudos comparativos desse tipo sejam escassos, os poucos disponíveis proporcionam conhecimentos valiosos para o entendimento das condições de contexto das abordagens voluntárias dos países desenvolvidos. Entretanto, poucas pesquisas focaram países em desenvolvimento. Este documento pretende contribuir para uma melhor compreensão das condições de contexto respondendo à seguinte questão:

Como os programas ambientais voluntários podem ser uma ferramenta política complementar viável para a redução de emissão de GEE em países em desenvolvimento?

O estudo argumenta que os programas voluntários que lidam com alterações climáticas nos países em desenvolvimento podem ser instrumentos políticos complementares confiáveis sob as seguintes condições: o contexto institucional do instrumento deve facilitar a sua credibilidade, instrumentos complementares apropriados devem encaixar-se no programa, a indústria participante deve reconhecer seus próprios incentivos de participação e o programa deve ser projetado com critérios de qualidade.

Os resultados dessa pesquisa podem servir para que os interessados procurem soluções políticas no sentido de reduzir as emissões de GEE em países em desenvolvimento. Paralelamente ao ambiente acadêmico, os responsáveis políticos são um público-alvo. O estudo esclarece questões sobre as melhores condições de execução dos VEPs nesses países. As limitações estão relacionadas à falta de métodos quantitativos aplicados a fim de responder à principal questão da pesquisa, com relação à eficiência dos programas. Na seção "Metodologia", expõe-se os métodos quantitativos utilizados na pesquisa. Entretanto, a falta de dados no âmbito de base dificulta a obtenção de respostas para as questões relativas à eficiência de um programa (HU, 2007). Blackman (2008) recomenda a superação desta deficiência através de uma avaliação qualitativa ou pelo envio da pesquisa às indústrias participantes do VEP.

A pesquisa com estudos de caso está também sujeita a críticas com relação a generalizações (FLYVBJERG, 2006, p. 224). Elaborar procedimentos universais não é o objetivo do documento. Em vez disso, o propósito é proporcionar informações de como o VEP pode funcionar num cenário dependente de contexto.

O documento é estruturado como segue: a próxima seção discute a seleção de estudos de caso e o levantamento das evidências empíricas com métodos de pesquisa qualitativa. Em seguida, uma estrutura conceitual é apresentada. Os resultados são mostrados em três etapas: uma para ambos os estudos de caso brasileiros (Projeto Carbono e Whirlpool S.A.), uma para a Missão para o Desenvolvimento Sustentável (Índia) e uma para o PECSME (Vietnã). Adicionalmente, estes casos são analisados pela comparação dos resultados com os objetivos propostos. Finalmente, a conclusão apresenta uma resposta à questão da pesquisa.

## METODOLOGIA

Um pequeno conjunto qualitativo de estudos de caso conduz essa pesquisa. O caráter exploratório da questão da pesquisa se encaixa no projeto de estudos de caso. De acordo com Yin (2003, p. 46-47), os estudos de casos múltiplos transmitem importantes informações sobre um problema e se encaixam nas questões de por que/como da pesquisa, ao contrário dos estudos de caso únicos. Um estudo de múltiplos casos é caracterizado pela lógica da generalização replicativa minuciosa: os casos selecionados devem provar ou desmentir as proposições teóricas. Sob essa lógica de réplica, quatro programas voluntários foram selecionados em três países. O programa representa o caso e está envolvido em um contexto específico (o país com suas próprias instituições, interesses e história).

Uma estratégia de amostragem de critério de base foi seguida para selecionar os países, setores e casos. Os países escolhidos foram economias em desenvolvimento, mais especificamente os países de fora do Anexo I do Protocolo de Kyoto. A esse grupo foram posteriormente reunidas as nações com alto nível populacional e potencial regional de economias emergentes: Brasil e Índia. O Vietnã, uma região menos populosa e sem significativo potencial regional, apresentou um contraste com os dois primeiros países.

Mesmo tendo em vista a importância dos setores agrícola e energético no que diz respeito à emissão de GEE, foi escolhido o setor industrial para a seleção dos casos. De acordo com Busch, Klee, e Hoffman (2008, p. 204-205), muitas indústrias estão presentes nos países desenvolvidos e nos em desenvolvimento. O setor industrial enfrenta um importante desafio em termos de variações regulamentares de acordo com o local onde a indústria está localizada. Portanto, no setor industrial, como declaram Busch, Klee e Hoffman (2008), existem

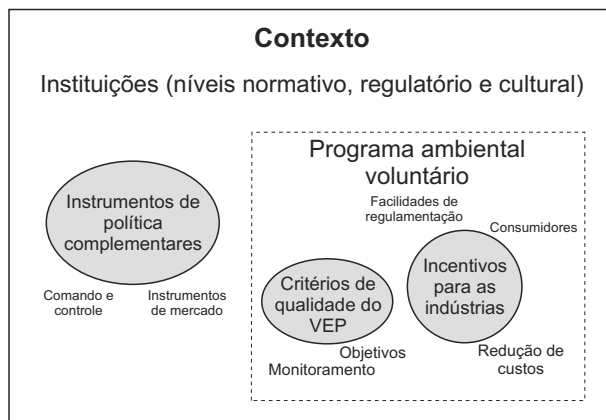
**Mesmo tendo em vista a importância dos setores agrícola e energético no que diz respeito à emissão de GEE, foi escolhido o setor industrial para a seleção dos casos**

iniciativas importantes de engajamento em programas setoriais voluntários. A seleção dos casos atende aos fundamentos de réplica e teve como critério inicial o reconhecimento oficial. Por exemplo, no caso do Brasil e Índia, programas voluntários foram considerados como estratégias para redução de emissões de GEE nos respectivos planos nacionais sobre mudança climática.

Três métodos qualitativos foram integrados ao protocolo de coleta de dados (revisão de documentos, entrevistas e arquivos) para todos os estudos de caso. Estes três métodos diferentes permitem a triangulação de fontes de informação e dados, bem como conferem vantagens para as questões da pesquisa de estudos de caso. Por exemplo, os métodos contemplam a descrição de complexa interatividade e informação contextual (YIN, 2003, p. 46-47).

## LITERATURA

O modelo ilustrado na Figura 1 apresenta algumas proposições sobre o que faz dos VEPs um instrumento de sucesso nos países em desenvolvimento. O contexto é formado por dois elementos: as instituições (no âmbito regulatório, normativo e cultural) e os outros instrumentos políticos que, paralelamente ao VEP, buscam apresentar uma



**Figura 1**  
Condições que moldam os VEPs como instrumentos políticos de mudança climática

Fonte: Elaboração própria.

solução para uma questão ambiental específica, neste caso, em particular, reduzir as emissões de GEE. O VEP descrito neste contexto é caracterizado pelos critérios de qualidade e pelos incentivos que uma indústria participante prevê no programa. Os critérios de qualidade de um VEP se referem às condições em seu projeto que enfatizam sua credibilidade e sua possível eficiência ambiental.

## Incentivos a partir da perspectiva da indústria

As principais diretrizes para o envolvimento da indústria nos VEPs são os benefícios regulamentares, reconhecimento público, reduções de custos em potencial e "resposta aos consumidores verdes". No México e na Colômbia, os benefícios regulamentares comuns consistem em evitar contínuas inspeções e licenças ambientais, garantindo a facilitação dos procedimentos administrativos (BLACKMAN, 2008, p. 128; BLACKMAN *et al.* 2009, p. 35). Em um VEP do setor de eletricidade da Colômbia, uma sociedade civil forte foi a motivação para a pré-condição do envolvimento de uma empresa (BLACKMAN *et al.* 2009, p. 35). Potencial de reservas e ganhos de eficiência entre as empresas também são diretrizes para o envolvimento de indústrias. Na província de Shadong, na China, produtores de aço foram encorajados a se engajar num VEP com o objetivo de economizar energia (HU, 2007, p. 5542). Um quarto incentivo parece "responder aos consumidores verdes". Blackman e outros (2009, p. 26) ilustram como os produtores de óleo de palma e de flores se envolvem no VEP pela pressão dos mercados europeu e americano. Uma diretriz final seria o histórico de boas práticas da empresa, em que o envolvimento da indústria no VEP não representaria custos adicionais. Este envolvimento, portanto, torna-se benéfico para todos os atores envolvidos.

## Do contexto institucional

A implementação do VEP pode aderir a três pilares institucionais: regras, normas e cultura. Sistemas

centralizados proporcionam um melhor contexto para o VEP, se envolverem uma abordagem consensual dos problemas ambientais. Em países em desenvolvimento, Rivera (2002, p. 355) aponta uma condição que fez o sucesso do Certificado Costarriquenho para Turismo Sustentável (CST): a longa história de confiança e cooperação entre as autoridades do turismo e os proprietários de hotéis. A “captura regulatória” pode ser feita em qualquer momento em que as autoridades não estejam aptas a negociar com instrumentos políticos alternativos. A captura regulatória se refere à capacidade da indústria de dirigir as negociações com regras voluntárias de interesses próprios. Um caso na Colômbia ilustra como as normas das instituições podem ser aprimoradas: um VEP industrial ajudou a educar os interessados a respeito dos procedimentos ambientais, mas não atingiu efeitos de qualidade ambiental positivos (BLACKMAN *et al.* 2009, 27, p. 43). O pilar institucional cultural se relaciona à probabilidade de as empresas se agruparem para fazer *lobby* de seu interesse. A criação de quadros de negócios é um exemplo do pilar anterior (DELMAS; TERLA- AK, 2001, p. 57). Hu (2007, p. 5546) sugere que as associações industriais são quase inexistentes no contexto chinês, portanto, os custos de seu envolvimento nos VEPs são altos.

### **Programas voluntários em si: critérios para a qualidade do projeto**

Regulamentação voluntária deve contar com critérios de qualidade e de segurança. Estes critérios buscam evitar parasitismo – empresas não cumpridoras promovidas, confiabilidade pública e impactos ambientais positivos (no caso de programas envolvendo mais de uma empresa). A partilha dos encargos é uma opção para evitar o parasitismo: empresas participantes devem compartilhar custos e benefícios (DE CLERCQ; BRACKE, 2005, p.

### **A captura regulatória se refere à capacidade da indústria de dirigir as negociações com regras voluntárias de interesses próprios**

249). A Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico (2003, p. 84) sugere que, embora com custos associados maiores, a definição do alvo individual é mais eficiente com uma regulamentação voluntária vinculada. Delmas e Terlaak (2001, p. 56) recomendam a divulgação pública do parasitismo ou VEPs não vinculativos. O monitoramento do cumprimento das exigências aumenta a confiança no programa e ajuda a quantificar as melhorias ambientais (FURGER, 2002, p. 284). Dietz (2002, p. 322) indica que, mesmo com os objetivos óbvios de controle de poluição, o VEP pode ser envolvido em propósitos alternativos, como, por exemplo, aprimoramento organizacional.

### **VEP como complemento de outros instrumentos políticos**

Pesquisas em países em desenvolvimento demonstram os instrumentos complementares do VEP: base de mercado, licenças negociáveis, impostos, subsídios, controle e comando e assistência técnica. Impostos são um bom “gancho” para atrair as indústrias: na Colômbia, as empresas podem obter incentivos para se engajar num VEP de economia de energia, uma vez que o imposto sobre investimentos em eficiência de energia infringe a lei (BLACKMAN *et al.* 2009, p. 30-31). Embora os subsídios sejam diretrizes para o envolvimento da indústria no VEP, tais instrumentos dificilmente são usados nos países em desenvolvimento. O papel dessa abordagem é destacado como um instrumento complementar em potencial para o envolvimento no VEP de duas fábricas de aço da China (PRICE; WORREL; SINTON, 2005). Além disso, a ordenação tipo comando-e-controle funciona como um tratamento regulamentar quando o programa voluntário é necessário para que os participantes cumpram metas e regulamentos (DE CLERCQ; BRACKE, 2005, p. 249). Finalmente, incentivos técnicos também são

considerados importantes para a promoção da adesão da indústria ao VEP. Um exemplo disso é o financiamento público para a promoção da técnica e inovação dos centros de produção mais limpa, comuns em países africanos e centro-americanos (BLACKMAN *et al.* 2009, p. 39).

## PROJETO CARBONO

A Plantar S.A. é uma empresa florestal brasileira produtora de carvão vegetal, dentre outros itens. Este carvão é subsequentemente usado na produção de aço e ferro fundido. A administração do programa está baseada em Belo Horizonte, no estado de Minas Gerais. As unidades com projetos em andamento possuem certificados ISO 9001 e 14001. A empresa desenvolve um VEP, mais especificamente um contrato privado, como definido pelo Croci (2005).

A empresa planeja criar créditos de carbono na ordem de 12,9 milhões de t CO<sub>2</sub>eq. (toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente), durante 28 anos, iniciados em 2000, ano em que se submeteu ao contrato.

O Projeto Carbono, programa desenvolvido pela empresa, consiste na venda de créditos de carbono para a Unidade de Financiamento de Carbono do Banco Mundial, através do Prototype Carbon Fund (PCF). O programa se encaixa na categoria de mecanismo de desenvolvimento limpo (*clean development mechanism*). O PCF cobre três esferas, parcialmente integradas no processo produtivo. As esferas de abordagem metodológica específicas do PCF são:

- Reflorestamento como fonte de madeira para uso industrial;
- Abrandamento da emissão de metano na produção do carvão;
- Novas plantações de biomassa, com uso do carvão como um agente termorredutor na produção de ferro.

O PCF compra créditos de carbono certificados por terceiros. Os primeiros investimentos

foram feitos pela própria empresa visto que o PCF não faz adiantamento de fundos. O contrato faz distinção entre créditos criados através do sequestro de carbono nas florestas e as reduções de emissão ao longo da linha de produção.

Agências ambientais não desempenham um papel importante neste caso: sua tarefa limita-se a monitorar o cumprimento da legislação ambiental.

O projeto começou em 2000, quando as primeiras árvores foram plantadas. O contrato de venda de créditos de carbono com o PCF foi assinado em 2002. Tendo em vista que o *Eucalyptus sp.* leva sete anos para atingir o ponto de boa colheita, só então as árvores podem ser usadas para a produção de carvão.

Todas as empresas florestais possuem certificado do Conselho de Gerenciamento Florestal (Forest Stewardship Council – FSC), que pode ser obtido por meio de um processo voluntário no qual a empresa florestal passa por uma avaliação (FSC BRAZIL, 2010). Essa avaliação abrange aspectos ambientais, econômicos e sociais. As organizações emissoras do selo no Brasil devem seguir os padrões internacionais e são monitoradas pelo FSC International (FSC IC).

## Resultados

De acordo com a Unidade Financiadora de Carbono do Banco Mundial (WORLD BANK, 2010), o Projeto Carbono já gerou créditos da ordem de 1,5 milhão de toneladas CO<sub>2</sub>eq.

O PCF declara que dá suporte ao projeto porque as terras reflorestadas eram utilizadas por atividades agropecuárias. Além disso, o projeto envolve a preservação do cerrado nativo (WORLD BANK, 2010), e o seu retorno financeiro direto o torna interessante para a empresa. O projeto apresenta um plano de monitoramento realizado por terceiros baseado nos princípios CDM. A Plantar S.A. disponibiliza sua própria documentação de avaliação ambiental através do site da PCF.

## Principais diretrizes

A venda de créditos de carbono proporciona retorno financeiro direto. Assim sendo, o projeto é vantajoso para a empresa, que fez mudanças na organização e na tecnologia para implementá-lo. Estas adaptações implicaram atualizações no processo de produção de ferro para utilização do carvão vegetal no lugar do mineral. Paralelamente, a redução de emissão de metano foi determinante para o estabelecimento do projeto.

Para coordenar tais mudanças, a empresa precisou criar um departamento específico. Um produto diferenciado resultou da mudança na matéria-prima (embora os produtos principais permanecessem os mesmos: madeira, ferro e aço).

A empresa declara que as associações – societária e industrial – foram propícias. O projeto ganhou o prêmio “Dê Crédito ao Meio Ambiente” como o melhor CDM implementado no Brasil. O prêmio é emitido por uma revista especializada na indústria, em colaboração com os ministérios do Meio Ambiente e da Ciência e Tecnologia.

## WHIRLPOOL S.A.

A Whirlpool S.A. é a subsidiária brasileira da American Whirlpool Corporation, maior fabricante de aparelhos eletrodomésticos do mundo. O centro administrativo da empresa no Brasil está localizado em São Paulo. Entretanto, as instalações de fabricação estão espalhadas pelo país (WHIRLPOOL, 2010). A empresa possui certificado ISO 140011 do sistema de gerenciamento ambiental (EMS). Este relatório é focado na informação fornecida pela unidade situada em Santa Catarina. O VEP desenvolvido pela empresa é uma coleção de melhorias da performance da empresa e sua divulgação pública (BLACKMAN, 2008).

A Whirlpool S.A. tem o objetivo global de redução de 6,6% na emissão de GEE até 2012, em comparação com os níveis de 2003 (quando a empresa

começou o planejamento das suas ações), mesmo com o crescimento antecipado da produção na ordem de 17% no mesmo período. Pretende-se fornecer créditos de carbono no futuro.

A empresa já possui algumas estimativas de emissão de GEE relacionadas com o plano corporativo de eficiência de energia (SOARES *et al.*, 2001). Entretanto, elas se relacionam apenas com o consumo da energia fornecida pela Eletrobras.

As ações da empresa para alcançar tais metas são uma combinação de medidas:

- Diminuição das emissões de GEE durante o processo de produção;
- Fabricação de produtos de baixo consumo de energia;
- Elaboração de um inventário de emissões para o programa GHG Protocol.

Para obter melhores resultados, a empresa firmou uma parceria com a The Natural Step (TNS), uma ONG sueca que ajuda a mapear estratégias de aprimoramento de performance ambiental. Esta parceria foi facilitada pela participação da Whirlpool S.A. em algumas atividades da TNS.

## Resultados

A empresa, juntamente com outras, participou do Programa Brasileiro de Combate ao Desperdício de Energia, que resultou na criação do selo Procel, presente atualmente na maioria dos produtos da Whirlpool S.A..

O inventário foi conduzido enquanto essa pesquisa era feita e publicado em junho de 2010, na categoria “bronze”: as emissões são parcialmente relatadas, e um terceiro faz a verificação (alguém na empresa que tenha elaborado o relatório, mas não participou do desenvolvimento do inventário).

A Whirlpool S.A. possui experiência anterior nesse tipo de ação. Em 1999, implementou o Projeto Ozônio, para sensibilizar empresas e profissionais de assistência técnica autorizada a coletarem gases para refrigeração (CFC) contidos nos produtos anteriores ao Protocolo de Montreal. A



sua conquista mais importante foi o selo de produtos de energia eficiente, periodicamente verificado por um terceiro e, portanto, considerado confiável. A empresa possui um objetivo quantitativo claro e está utilizando uma tecnologia reconhecida para medir suas emissões.

A lista de categorias publicada do protocolo de controle de emissões de GEE (GHG Protocol) não contempla a verificação por terceiros, e, além disso, as emissões ainda são parcialmente declaradas. Esta aquisição não diz muito sobre a redução de emissões da empresa, mas proporciona *know-how* sobre o inventário de GEE aos empregados, útil quando a empresa concorrer à categoria “ouro”.

Uma situação delicada para a empresa é a inclusão de CFCs como matéria-prima para a produção de refrigerantes. A Whirlpool S.A. diz que sua linha de produção foi adaptada para diminuir a taxa de vazamento ao ambiente através do uso de todo o material, do controle de emissão de gases do efeito estufa, da substituição de alguns componentes por outros mais ajustáveis, etc. Considerando que esse conjunto de ações está incompleto, o projeto pode ser considerado como parcialmente favorável.

### Principais diretrizes

Os benefícios do programa da Whirlpool S.A. estão relacionados à aceitação dos mercados interno e externo e à lealdade dos consumidores. O selo Procel é divulgado no Brasil, mas países importadores têm suas próprias demandas em relação a produtos e à performance da empresa. Se a empresa está apta a criar créditos de carbono, isso também vai proporcionar retorno financeiro direto.

A empresa declara que as matrizes americanas exigem resultados porque têm metas globais a atingir, mas é a subsidiária brasileira que avalia e implementa os projetos mais adequados.

A empresa fez várias mudanças para atingir seus objetivos. Assim como no caso anterior, foram feitas alterações nos processos de geração de

emissões com a colaboração interna de diferentes departamentos, com um único responsável pelos aspectos ambientais. As modificações também fornecem dados para a elaboração do inventário do protocolo de controle de emissões de GEE (GHG Protocol).

A empresa fez as alterações necessárias nos produtos de baixo consumo de energia, para obter o selo Procel e vender estes produtos no mercado externo.

A Whirlpool S.A. declara que a redução de custo foi possível depois da aplicação do Projeto Ozônio e da nova tecnologia e que teve as suas ações ambientais premiadas de diversas formas, mas não diretamente relacionadas com a redução de GEE.

## MISSÃO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (MSG) – UM ESTUDO DE CASO DA ÍNDIA

Esta seção apresenta um VEP desenvolvido para um grande número de indústrias indianas.

### Descrição do programa

A Missão de Desenvolvimento Sustentável (Mission on Sustainable Growth – MSG) é um VEP iniciado pela Confederação das Indústrias Indianas (CII). O objetivo do programa é desenvolver “modelos de negócios ecologicamente sustentáveis” com foco na redução do consumo de energia, água e recursos naturais. Foi elaborado em 2007 e iniciado em 2010, com 419 participantes, atingindo diversas operações diferentes, desde a indústria pesada a empresas de serviços, com escala de operação dos níveis nacionais aos transnacionais.

De acordo com a classificação desenvolvida por Rivera (2002), a MSG se encaixa na categoria de “indústria com códigos unilaterais de boa conduta, com foco em sistemas de gerenciamento ambiental”. É um exemplo de parceria privada com baixo envolvimento governamental.

A CII é uma organização sem fins lucrativos de membros da indústria e, como um facilitador do programa, oferece serviços de suporte, mediante a cobrança de uma taxa, e proporciona uma plataforma de rede. A CII recebeu diferentes formas de assistência de organizações internacionais reconhecidas durante as várias fases do programa, algumas delas colaborando na construção do conhecimento. O Instituto Sueco de Pesquisa Ambiental (IVL) deu assistência no desenvolvimento de tecnologia limpa na minimização de desperdícios; o Instituto Mundial de Pesquisa (World Research Institute – WRI) contribuiu na elaboração de diretrizes para as empresas e na documentação das emissões de GEE; O World Wide Fund (WWF) ajudou a desenvolver uma marca ecológica nacional e marcas para empresas individuais. Outros organismos, como o Departamento de Estado americano, financiaram várias campanhas e workshops para aumentar a consciência sobre a necessidade do desenvolvimento sustentável e a difusão de melhores práticas, através da Asia Pacific Partnership (APP). A CII também desenvolveu o Código para Crescimento Ecologicamente Sustentável dos Negócios, que consiste em uma lista de metas a serem alcançadas pelas empresas participantes, cobrindo aspectos como o estabelecimento de sistemas de gestão ambiental, a redução do consumo de energia, recursos naturais e água, o aumento do uso de energia renovável, a reciclagem de resíduos e utilização de materiais reciclados, a instalação de coletores de água pluvial e a incorporação de avaliações da vida útil dos novos produtos e processos. Todos esses alvos são definidos na forma de percentual de alcance e as empresas podem estabelecer objetivos anuais ou por um período de dez anos.

A implementação do programa foi dividida em três etapas. A primeira incluiu a condução de programas de conscientização no âmbito de instalações, linha de base, definição de alvos voluntários e desenvolvimento da marca ecológica atual. A Etapa II englobou atividades como construir o

inventário de GEE, a identificação das áreas de aprimoramento e execução de estudos confiáveis. A Etapa III foi caracterizada pela implementação de projetos para modificações, monitoramento contínuo e a identificação do potencial de aprimoramento e relatos voluntários dos resultados.

Foi estudado o grupo industrial Godrej, um grande conglomerado indiano com operações em diversos tipos de negócios, baseado fora de Mumbai. A empresa adotou uma atitude proativa nos assuntos ambientais no passado, sendo uma das primeiras da Índia a interromper totalmente o uso de clorofluorcarbonetos (CFCs) e outros gases destruidores do ozônio. A Godrej também desempenha um importante papel nas atividades da CII: seu diretor-gerente é o presidente da MSG e ex-presidente da CII. A empresa iniciou a implementação do programa em 2009 e atualmente avançou para a Etapa II.

#### **Avaliação da eficiência do programa**

Como o MSG está em seu estágio inicial de implementação, um julgamento de sua eficiência é um desafio para manter sua validade e credibilidade.

Entrevistas semiestruturadas permitiram a dedução de que a empresa Godrej atingiu as metas da Etapa I, embora com obstáculos de menor importância. Economia de energia e água foi conseguida a partir de inúmeros programas de conscientização, que aumentaram a utilização de iluminação eficiente e a instalação de medidores de água para detectar uso excessivo. O papel da alta direção influencia o sucesso da implementação do VEP nesta empresa, já que o presidente do VEP é também o diretor-gerente da empresa. Esta dupla responsabilidade é uma pressão para dar o exemplo e melhorar a imagem da empresa, podendo estabelecer uma correlação para assegurar o sucesso do VEP.

Empresas menores mostraram uma tendência a resistir em participar ou foram menos eficientes na implantação do programa, que foi melhor absorvido pelas empresas maiores.

Embora até aqui as empresas fizessem seu próprio monitoramento e apresentassem seus relatórios externamente, um novo esquema de qualificação, ainda em fase embrionária, conhecido como sistema Greenco de classificação para empresas, foi introduzido em fevereiro de 2011. Esse sistema obriga as empresas a se sujeitarem a avaliações externas, por auditores certificados e representantes da CII. As empresas são então reconhecidas através de uma classificação feita por um quadro externo de auditores.

### **PROMOÇÃO DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA EM PEQUENAS E MÉDIAS EMPRESAS NO VIETNÃ (PECSME)**

Este estudo de caso apresenta um programa de disseminação de tecnologia em fornos verticais de olarias vietnamitas (*vietnamese vertical shaft brick kilns – VSBK*), chamado Promoção de Conservação de Energia em Pequenas e Médias Empresas (Promoting Energy Conservation in Small and Medium Enterprises – PECSME). O programa foi implementado de 2006 a 2010, e este caso ilustra como o VEP pode ser utilizado para transferência de tecnologia com forte envolvimento do governo, já que o PECSME é um programa de administração pública, hospedando empresas individuais.

#### **Descrição do programa**

O principal objetivo do PECSME é remover as barreiras na implantação de transferência de tecnologia. A estratégia é a adoção de gerenciamento eficiente das operações em pequenas e médias empresas (*small and medium enterprises – SME*) em cinco setores industriais: olarias, porcelana e cerâmica, têxtil, papel e processamento de alimentos. Estes setores foram reconhecidos no antigo Programa Vietnamita de Conservação de Energia (Vietnam Energy Conservation Program) como os de maior potencial de economia de energia.

O PECSME estabelece objetivos para todos os programas nos cinco setores industriais, sem detalhar metas por empresa. Os objetivos de redução quantitativa do PECSME nestes cinco setores industriais são: diminuição na média anual de emissão de GEE de 1.004,2 kt CO<sub>2</sub> eq., de 2005 a 2015; média de 10% a 15% de redução do custo da unidade de produção de energia, em 2010; e 189,5 kt/ano de economia de energia de 2005 a 2015. Adicionalmente, as metas do projeto de prestadores de serviços em conservação de energia e eficiência de energia (*energy conservation and energy efficiency – ECEE*) envolvem agências de gestão ECEE e agências de desenvolvimento de políticas. Os resultados do PECSME vão formar bases para que as autoridades elaborem um plano apropriado de conservação de energia, bem como a legislação correspondente.

O PECSME foi fundado pela UNDP – GEF, Ministério de Ciência e Tecnologia (Most) e Ministério do Meio Ambiente e Recursos Naturais (Monre). Adicionalmente, a UNDP – GEF atua como um monitor externo, enquanto os Most e Monre são os agentes principais na implantação, execução e monitoramento do programa.

Com relação à indústria de olaria, houve disseminação do programa da VSBK, cuja tecnologia foi criada originalmente na China e desenvolvida pela Universidade de Hanói de Tecnologia para ser adaptada à indústria de olaria do Vietnã. As vantagens sobre a tecnologia tradicional de olarias foi provada através de cinco casos demonstrativos previamente conduzidos em outros programas pelos ministérios Most e Monre. Entretanto, um dos desafios para as SMEs migrarem da tecnologia tradicional para a VSBK é o investimento relativamente alto. Daí, o PECSME pretende facilitar a disseminação da VSBK para as indústrias de olaria de pequeno e médio porte. O programa começou em dez províncias e os objetivos foram o aumento da conscientização ambiental da produção e a disseminação de métodos de conservação e eficiência de energia.

O programa é conduzido através de sete passos. Primeiro, as empresas em potencial são relacionadas pelo escritório de gerenciamento (*project management office* – PMO), prestadores de serviço ECEE e agências governamentais locais. Então os interessados se comprometem a participar do programa, e o PMO e ECEE estabelecem o grau de envolvimento das empresas. Em seguida, relatórios detalhados sobre a energia e os investimentos são elaborados pelos prestadores de serviço ECEE e aprovados pelo PMO. Os prestadores de serviço ECEE ou a empresa implementam o projeto e preparam o relatório final.

As informações sobre o PECSME foram divulgadas através de workshops em cada localidade envolvida e pela mídia local e nacional. As empresas envolvidas que se comprometeram a se adaptar à nova tecnologia receberam informações sobre os métodos ECEE, legislação, assistência tecnológica, alguma assistência de auditoria financeira e a garantia de um empréstimo de um banco nacional. O PECSME também emite anúncios trimestrais para atualizar as empresas envolvidas sobre o programa e compartilhar experiências sobre as técnicas de eficiência de energia.

### **Avaliação da eficiência do programa**

Até maio de 2010, 188 empresas de olaria espalhadas por mais de 20 províncias participaram do PECSME. Estes resultados ilustram o alto nível de preocupação das olarias com o programa. Todas as empresas envolvidas deram *feedback* positivo após instalarem a nova tecnologia de gerenciamento conservativo de energia: produtos de maior qualidade e menor preço dos manufaturados. Entretanto, os números definitivos da redução de emissão de GEE e da economia de energia não foram publicados pelas autoridades. Para avaliar a implantação da nova tecnologia, dois padrões nacionais existentes devem ser dispostos: TCVN 5937: 1995 (qualidade do ar e padrão de qualidade do ar no meio ambiente) e TCVN 1450: 1998 (padrão da argila para tijolos).

O grande número de empresas interessadas no PECSME pode ser parcialmente explicado pela pressão regulatória e não regulatória sobre as empresas. As emissões de gás das olarias afetam as culturas e atingem negativamente as relações com a população do entorno. Adicionalmente, a pressão com relação ao cumprimento da decisão 115/2001/QD-TTg<sup>1</sup> na eliminação da tecnologia antiga das olarias em 2010 também força a indústria a se juntar ao PECSME.

### **Incentivos**

Antes de as empresas se comprometerem com o PECSME, o PMO fornece informações sobre o programa – objetivos, procedimentos, vantagens para as empresas envolvidas. Algumas dessas informações incluem avisos sobre as medidas de ECEE, financiamento parcial das auditorias de energia e aumento do prestígio dos produtos no mercado. Entretanto, as empresas têm interesse no PECSME pelas seguintes razões:

- Assistência tecnológica na compra de tecnologia, instalação, operação e treinamento de empregados;
- Garantia de acesso a empréstimos bancários para investimentos em ECEE;
- Aumento na produtividade e na qualidade dos produtos;
- Economia no custo da energia, redução do preço de custo e aumento da competitividade;
- Obtenção e troca de experiências e soluções nas medições de ECEE na operação e produção com outras empresas;
- Cursos gratuitos de treinamento e capacitação para implementação e gerenciamento de atividades ECEE.

<sup>1</sup> Aprovação de planejamento no desenvolvimento dos materiais de construção do Vietnã.

## DISCUSSÃO

### Incentivos à indústria

De acordo com a pesquisa, todos os estudos de caso mostraram que a difusão das melhores práticas é o mais importante incentivo da implementação do VEP, especialmente em termos de organização, capacitação e interatividade com outras empresas. Como consequência, as empresas aprimoram a eficiência de seus processos pela redução do consumo de energia e matéria-prima e controle de emissões. Esta eficiência vem como resultado da inovação implantada nas empresas, como diz a teoria, mas os métodos se diversificaram entre os programas.

O custo paralelo do VEP é uma diretriz para sua implementação. As empresas brasileiras já têm experiência com os sistemas de gestão ambiental (*environmental management systems* – EMS) e os métodos de certificação. De acordo com MSG e PECSME, as empresas participantes são geralmente aquelas com experiência em gestão ambiental. Um bom VEP proporciona reconhecimento público, seja pela conquista de prêmios, divulgação na imprensa ou mídia de radiodifusão. Entretanto, o PECSME mostrou-se indiferente a este reconhecimento.

A maioria dos VEPs objetiva apenas o consumo “verde” de empresas que exportam para países desenvolvidos, e todos os casos provaram como isso não é tão expressivo nos mercados internos. Entretanto, as vantagens de competitividade devido às diferenciações foram notadas tanto na Whirlpool S.A. quanto no PECSME: a primeira, em termos de melhores produtos, e o segundo, devido aos menores preços.

MSG e PECSME provaram como a relação ameaças/benefícios serviu como incentivo ao VEP. Enquanto as empresas indianas temem as novas regulamentações sobre energia e emissões, as vietnamitas recebem benefícios com a aplicação do programa.

Finalmente, assistência técnica e suporte financeiro foram boas diretrizes do VEP. Estes incentivos

não foram, no entanto, fornecidos pelo governo. O método e a fonte destes incentivos diferem em cada estudo de caso.

### Instituição

Os estudos de caso mostraram que um sistema regulatório centralizado pode ser um cenário favorável para o funcionamento do VEP, se houver uma abordagem consensual sobre os problemas ambientais. Sistemas regulatórios descentralizados, porém, não são sempre desfavoráveis. No PECSME, os governos central e local são os maiores interessados. Eles planejam, executam, monitoram e avaliam o programa, o que o torna coerente nas regiões participantes. Por outro lado, a Whirlpool S.A. prova que sistemas regulatórios descentralizados não agem em detrimento do VEP, o que foi mostrado através do sucesso da colaboração da empresa no Programa de Combate ao Desperdício de Energia e na criação do selo Procel.

A capacidade dos reguladores em aplicar políticas alternativas (ameaça regulativa) adicionalmente ao VEP pode ser um fator importante, mas não será sempre determinante para o sucesso do programa. No Vietnã, o governo forçou os participantes a se juntarem ao PECSME enquanto promulgava um padrão de tecnologia ambiental no fim do uso de fornos em olarias em 2010. Imposições regulatórias futuras não são a única diretriz para a participação no programa MSG. Entretanto, nos casos do Projeto Carbono e Whirlpool S.A., a imposição regulatória não desempenha papel importante porque não há metas obrigatórias de redução de GEE para as empresas, especialmente no Projeto Carbono, no qual o que se pretende é criar créditos de carbono.

Terceiras partes estão envolvidas em todos os casos, com diferentes funções. A participação de terceiros aumenta a aceitação pública. Podem ser organizações internacionais renomadas ou ONGs: o Banco Mundial e o prêmio ambiental no Projeto Carbono, a TNS na Whirlpool S.A., o Departamento

de Estado americano e o Instituto Mundial de Pesquisa no MSG, a UNDP no PECSME. As funções variam desde o estabelecimento de preços ao planejamento real, implementação, monitoramento e avaliação dos programas.

O estudo também prova a possibilidade de sucesso na implantação do VEP quando os reguladores estão aptos a incorporar os programas dentro dos sistemas regulatórios existentes. Na Índia, o Bureau de Eficiência Energética desenvolve políticas com ênfase em regulamentações autônomas e de mercado, tais como o desenvolvimento de um esquema de comercialização de energia. Experiência anterior esclareceu que o sucesso do programa em si influencia na sua implementação como política.

### **Combinação apropriada com outros instrumentos políticos.**

A partir da literatura prévia, é sabido que programas ambientais voluntários funcionam melhor em conjunto com outros instrumentos políticos. Algumas das políticas recomendadas determinam desenvolvimento de tecnologia, padrões ambientais, campanhas informativas, licenças e impostos negociáveis.

A primeira proposta é a combinação do VEP com subsídios de desenvolvimento de tecnologia, investimentos de capital e operação de equipamentos de tratamento de GEE. Isto foi visto apenas no PECSME, no qual as empresas participantes recebem assistência técnica do governo e da UNEP na compra, instalação e operação da nova tecnologia. Paralelamente, os participantes são alvo prioritário dos fundos de crédito para instituições financeiras sem fins lucrativos, num esforço do governo em sustentar o desenvolvimento das PMEs.

A segunda proposta é a integração dos VEPs aos padrões ambientais existentes e aos sistemas de gestão ambiental. A utilidade dos padrões nacionais e/ou sistemas de gestão ambiental foi observada em todos os quatro casos. Ambos os projetos brasileiros foram conduzidos por empresas

certificadas ISO 14001 – sistemas de gestão ambiental (EMS). Além disso, as florestas manejadas pelo Projeto Carbono possuem certificado da FSC. Como parte do MSG indiano, o estabelecimento do EMS é um dos objetivos do programa, visto como uma forma de assegurar o cumprimento dos padrões ambientais. Muitas das grandes empresas participantes já possuem um EMS em funcionamento, enquanto as menores estão recebendo assistência na sua implantação. O PECSME vietnamita segue as diretrizes de dois padrões nacionais, um deles relacionado à qualidade do ar ambiente e o outro para a produção de tijolos de argila. Entretanto, as PMEs participantes do PECSME não implantaram nenhum EMS.

Outra proposição importante dos VEPs, juntamente com a difusão tecnológica, é a criação de campanhas de conscientização do consumidor. Todos os casos, exceto o Projeto Carbono, confirmaram as campanhas informativas como uma parte importante do programa. Entretanto, o público-alvo varia entre três VEPs. O selo Procel relativo ao caso Whirlpool foi promovido pelo governo brasileiro, com referência aos benefícios do uso de produtos com eficiência energética. O MSG usou campanhas informativas como uma ferramenta importante para conscientizar as indústrias, através de toda a cadeia de suprimento e junto aos consumidores. O PECSME conduziu várias campanhas informativas e workshops para PMEs.

O Projeto Carbono esclareceu sobre o papel do comércio de emissões/deposições como um instrumento de política em potencial paralelamente aos VEPs. As empresas participantes do MSG devem negociar sua economia de energia através de um esquema desenvolvido pelo governo indiano conhecido como Perform Achieve Trade (PAT). Entretanto, o PAT não é diretamente vinculado ao programa. Considerando que dois dos casos – Whirlpool S.A. e PECSME – não utilizam qualquer forma de licença negociável, é difícil concordar que licenças negociáveis são uma política de combinação importante para o sucesso dos VEPs.

Impostos, taxas e encargos podem, na teoria, influenciar a participação das empresas. Entretanto, nenhum dos quatro casos utiliza estes artifícios em seus programas.

### **Crítérios de qualidade**

Esta seção discute as condições necessárias para tornar os VEPs instrumentos políticos úteis.

Primeiramente, de acordo com a teoria, os objetivos do VEP devem ser apresentados. Em todos os quatro casos, os objetivos foram apresentados de forma direta, complementados com metas quantificáveis, num prazo determinado. Adicionalmente, a teoria pretende que estes objetivos sejam outra determinante do sucesso do VEP. Os quatro casos apresentaram essas metas quantificáveis, mas alguns optaram por números absolutos e outros utilizaram relativos. O Projeto Carbono usou uma cota de redução da emissão de CO<sub>2</sub> resumida ao cronograma do projeto. Em contraste, o projeto Whirlpool e as empresas participantes no MSG estabeleceram valores relativos de redução, comparados às condições previamente existentes. As empresas participantes no MSG foram avaliadas pelas suas linhas de base de emissão e as metas são estabelecidas de acordo com elas. O PECSME tem um objetivo global de redução de GEE e economia de energia. As empresas são avaliadas em suas linhas de base de emissão e programam a implementação de redução de emissão para atingir estas metas.

Os sistemas de monitoramento trazem benefícios para os VEPs: evitam a “lavagem verde” do programa e diminuem o parasitismo. O automonitoramento é uma opção para as empresas acompanharem os próprios resultados, mas quando é encaminhado para uma terceira parte torna os resultados mais confiáveis. Todos os casos demonstraram a existência de monitoramento. Devido aos sistemas de gestão ambiental, as empresas brasileiras apresentam periodicamente seus relatórios de gerenciamento e manejo de resíduos para as agências competentes. O Projeto Carbono

é acompanhado pelo único terceiro reconhecido, o comprador de créditos de carbono, PCF. De forma similar, do projeto Whirlpool é exigida uma avaliação externa de seus produtos para a manutenção do selo Procel. O MSG introduziu recentemente um componente externo de monitoramento e leitura. As empresas são avaliadas por assessores independentes e representantes do CII. Uma vez validados os resultados, a empresa recebe uma classificação da sua performance por um quadro externo de auditores. No PECSME, o monitoramento é conduzido por terceiros, incluindo um fornecedor ECEE, enquanto a UNDP controla e avalia a performance das empresas. As empresas podem também monitorar a si próprias com o acompanhamento de terceiros para avaliar a sua performance.

Evitar o parasitismo, como mencionado anteriormente, é um fator importante para garantir o sucesso do VEP. O parasitismo não foi relevante em três dos casos presentes. Os casos brasileiros tiveram o programa implementado por empresas individuais, enquanto no caso vietnamita o estabelecimento do envolvimento foi feito com base na avaliação da infraestrutura e performance de cada empresa pela ECEE ou PMO nos primeiros passos do PECSME. Portanto, o parasitismo não é um problema no PECSME. Para prevenir o parasitismo no MSG, o programa introduziu metas vinculadas como requisito para a participação da empresa. Devido às dificuldades das empresas menores durante a implementação, a CII e as empresas maiores deram mais assistência para aumentar a implantação efetiva do programa. O esquema de classificação proporcionaria um incentivo positivo para as empresas participarem, mas a severidade sobre os fracos desempenhos não é conclusiva, considerando que o programa incentiva a participação das empresas.

### **CONCLUSÃO**

A equipe de pesquisa espera contribuir com a elaboração de políticas a respeito das mudanças

climáticas, fornecendo informações de como o VEP pode ser adequado para incentivar a redução de emissão de GEE no setor industrial dos países em desenvolvimento. As provas apresentadas preenchem parcialmente seu propósito. As descobertas nos quatro componentes do VEP – instituições, critérios de qualidade, incentivos à indústria e instrumentos políticos associados – podem contribuir para a construção do conhecimento nesse campo pouco estudado. Entretanto, a coleta de dados de campo não permitiu completar esse esforço. A pesquisa contemplou métodos qualitativos para compensar a escassez de dados quantitativos de campo. Não obstante, o documento não estabelece uma relação causa-efeito entre a participação em um VEP e os ganhos ambientais.

A partir dessa pesquisa, pôde-se concluir que a combinação de VEPs com a disseminação de campanhas informativas é um aspecto importante nos países em desenvolvimento, onde o VEP é usado como plataforma para a conscientização sobre os problemas ambientais, para os diferentes interessados, tais como consumidores e produtores. Uma forte ligação entre os VEPs, os padrões ambientais e os sistemas de gestão ambiental também existe. Frequentemente, os VEPs ajudam as empresas a atenderem aos padrões ambientais existentes e/ou instalar sistemas de gestão ambiental. Esta pesquisa desafia a proposição de que impostos e taxas são necessários para o funcionamento efetivo dos VEPs. O papel dos subsídios e licenças negociáveis não é conclusivo e esta é uma área para investigação futura.

Para assegurar que a qualidade do VEP será mantida, são necessárias metas claras, objetivas e quantificáveis. Sistemas de monitoramento, especialmente por órgãos externos, também constituem fator-chave para assegurar que os padrões do VEP sejam preservados, enquanto o problema de parasitismo é relevante apenas quando o VEP se estende por várias empresas. Este assunto exige uma pesquisa adicional para atingir resultados conclusivos.

Com relação às diretrizes de incentivos externos para as indústrias (imposição regulatória ou financiamento externo), parecem não influenciar o sucesso do VEP, embora possam ser significativas para empresas menores. O incentivo mais importante promove aprimoramentos dentro da empresa, como o aumento de eficiência, difusão de boas práticas e incentivo à inovação. A resposta aos consumidores “verdes” não é uma diretriz importante para as empresas focadas no mercado interno, sendo significativa para as centradas na exportação.

Baseado no exposto, futuras pesquisas devem ser conduzidas nas seguintes áreas:

- Eficiência dos VEPs: como mencionado, a pesquisa pode ser conduzida em programas finalizados, ao invés de em programas em curso;
- Estabelecer as fronteiras entre as vantagens e as desvantagens dos diferentes métodos para redução de emissão de GEE em países em desenvolvimento;
- O comportamento e a influência dos “consumidores verdes” nos países em desenvolvimento. Muitos VEPs são estabelecidos nesses países e, apesar de a resposta do mercado “verde” ter sido uma diretriz para o envolvimento das empresas no VEP, tais mercados estão localizados mais comumente em países desenvolvidos.

## REFERÊNCIAS

APIGIAN, Jeffrey. The role of voluntary industry-government partnerships in reducing greenhouse gas emissions: a case study of the USEPA Climate Leaders programme. In: SULLIVAN, Rory (Ed.). *Corporate responses to climate change: achieving emissions reductions through regulation, self-regulation and economic incentives*. Sheffield, UK; Greenleaf Publishing, 2008. p. 86-99.

BLACKMAN, Allen. Can voluntary environmental regulation work in developing countries? Lessons from case studies. *The Policy Studies Journal*, v. 36, n.1, p. 119- 141, 2008.

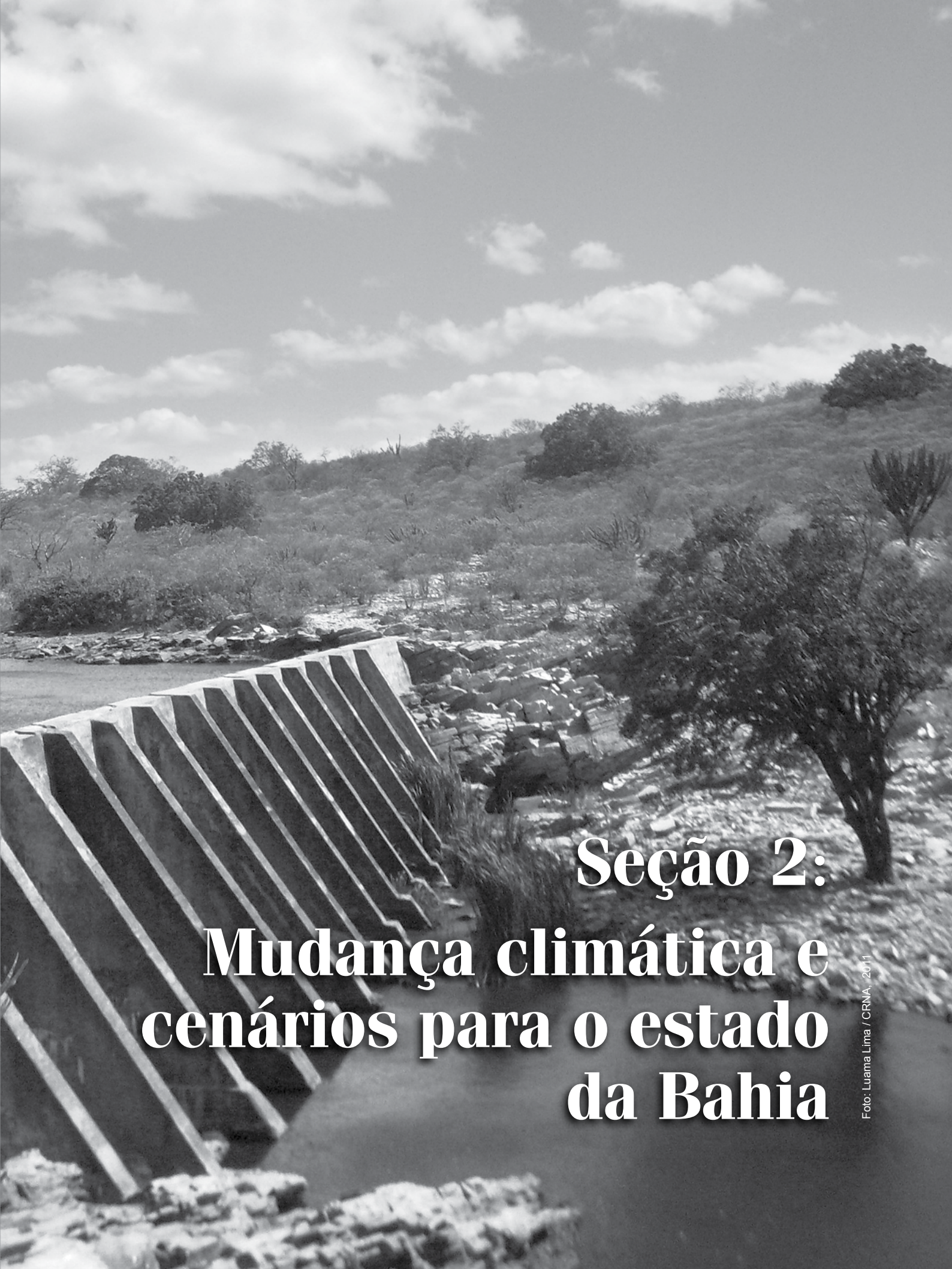
BLACKMAN, Allen et al. *Voluntary environmental agreements in developing countries, the Colombian experience*. RFF Report. Washington: Resources for the future, 2009. Disponível em: <<http://www.rff.org/Publications/Pages/PublicationDetails.aspx?PublicationID=20844>>. Acesso em: 28 Feb. 2010.



- BUSCH, Timo; KLEE, Howard; HOFFMANN, Volker H. Curbing greenhouse gas emissions on a sectorial basis: the Cement Sustainability Initiative. In: SULLIVAN, Rory (Ed.). *Corporate responses to climate change: achieving emissions reductions through regulation, self-regulation and economic incentives*. Sheffield, UK: Greenleaf Publishing, 2008. p. 204-219.
- CROCI, Edoardo. The economics of environmental voluntary agreements. In: CROCI, Edoardo (Ed.). *The handbook of environmental voluntary agreements: design, implementation and evaluation issues*. Dordrecht: Springer, 2005. p. 3-30. (Environment and Policy, 43).
- DE CLERCQ, M.; BRACKE, R. On the assessment of environmental voluntary agreements in Europe: lessons to be learned from a comparative case study analysis. In: CROCI, Edoardo (Ed.). *The handbook of environmental voluntary agreements: design, implementation and evaluation issues*. Dordrecht: Springer, 2005. p. 239-260. (Environment and Policy, 43).
- DELMAS, Magali A.; TERLAACK, Ann K. A framework for analyzing environmental voluntary agreements. *California management review*, [S.l.], v. 43, n. 3, p. 44-63, 2001.
- DIETZ, Thomas. Understanding voluntary measures. In: DIETZ, Thomas; STERN, Paul C. (Ed.). *New tools for environmental protection: education, information, and voluntary measures*. Washington, DC: National Academy Press, 2002. p. 311-318.
- FLYVBJERG, Bent. Five misunderstandings about case-study research. *Qualitative Inquiry*, [S.l.], v. 12, n. 2, p. 219-245, Apr. 2006.
- FSC BRAZIL. *Forest Stewardship Council Brazil*, 2010. Disponível em: <<http://www.fsc.org.br/>>. Acesso em: 21 Apr. 2011.
- FURGER, Franco. Assessing the credibility of voluntary codes: a theoretical framework. In: DIETZ, Thomas; STERN, Paul C. (Ed.). *New tools for environmental protection: education, information, and voluntary measures*. Washington, DC: National Academy Press, 2002. p. 283-302.
- GLACHANT, M.; MUIZON, G. de. Climate change agreements in the United Kingdom: a successful policy experience? In: MORGENSTERN, Richard D.; PIZER, William A. (Ed.). *Reality check: the nature and performance of voluntary environmental programs in the United States, Europe, and Japan*. Washington, DC: Resources for the Future, 2007. p. 43-89.
- HU, Yuan. Implementation of voluntary agreements for energy efficiency in China. *Energy Policy*, [S.l.], v. 35, p. 5541-5548, 2007.
- KRARUP, S.; MILLOCK, M. Evaluation of the danish agreements on industrial energy efficiency. In: MORGENSTERN, Richard D.; PIZER, William A. (Ed.). *Reality check: the nature and performance of voluntary environmental programs in the United States, Europe, and Japan*. Washington, DC: Resources for the Future, 2007. p. 43- 89.
- MARSHALL, Catherine; ROSSMAN, Gretchen B. *Designing qualitative research*. 4. ed. Thousand Oaks, CA: Sage, 2006.
- MORGENSTERN, Richard D.; PIZER, William A.; SHIH, Jih-Shyang. Evaluating voluntary U.S. climate programs: the case of climate wise. In: MORGENSTERN, Richard D.; PIZER, William A. (Ed.). *Reality check: the nature and performance of voluntary environmental programs in the United States, Europe, and Japan*. Washington, DC: Resources for the Future, 2007. p. 118-137.
- ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. *Voluntary approaches for environmental policy: effectiveness, efficiency and usage in policy mixes*. Paris: OECD, 2003.
- OSMOND, P. The Australian greenhouse challenge program: a perspective from a participating university. In: TEN BRINK, Patrick (Ed.). *Voluntary environmental agreements process, practice and future use*. Sheffield, UK: Greenleaf, 2002. p. 266- 279.
- OZAWA-MEIDA, Leticia; FRANSEN, Taryn; JIMÉNEZ-AMBRIZ, Rosa M. The Mexico greenhouse gas program: corporate response to climate change initiatives in a "non-Annex I" country. In: SULLIVAN, Rory (Ed.). *Corporate responses to climate change: a Achieving emissions reductions through regulation, self-regulation and economic incentives*. Sheffield, UK: Greenleaf Publishing, 2008. p. 117-137.
- PRICE, L.; WORRELL, E.; SINTON, J. Designing energy conservation voluntary agreements for the industrial sector in china: experience from a pilot project with two steel mills in Shandong province. In: CROCI, Edoardo (Ed.) *The handbook of environmental voluntary agreements: design, implementation and evaluation issues*. Dordrecht, 2005. p. 221-235. (Environment and Policy, n. 43).
- RIVERA, Jorge. Assessing a voluntary environmental initiative in the developing world: the Costa Rican certification for sustainable tourism. *Policy Science*, [S.l.], v. 35, p. 333-360, 2002.
- SOARES, G. A. et al. Energy efficiency and greenhouse gases emissions in the appliance industry: the first Brazilian case study. ACEEE summer study on energy efficiency in industry. USA, 2001. Disponível em: <<http://www.aceee.org/pubs/sstoc01.htm#panel4>>. Acesso em: 24 May 2010.
- SULLIVAN, Rory. Setting a future direction for climate change policy. In: SULLIVAN Rory (Ed.). *Corporate responses to climate change: achieving emissions reductions through regulation, self-regulation and economic incentives*. Sheffield, UK: Greenleaf Publishing, 2008. p. 334-338.
- WHIRLPOOL S. A. *Institucional*. Disponível em: <<http://www.whirlpool.com.br/site/p/institucional/>>. Acesso em: 30 Mar. 2010.
- WORLD BANK. *Brazil: plantar sequestration and biomass use*. Disponível em: <<http://wbcarbonfinance.org/Router.cfm?Page=PCF&FID=9707&ItemID=9707&ft=Projects&ProjID=9600>>. Acesso em: 27 Mar. 2010.
- YIN, Robert K. *Case study research, design and methods*. 3. ed. Thousand Oaks, CA: Sage, 2003. (*Applied social research methods series*, v. 5)

Artigo recebido em 21 de agosto de 2011  
e aprovado em 30 de setembro de 2011.





**Seção 2:**  
**Mudança climática e  
cenários para o estado  
da Bahia**



# Impacto das mudanças climáticas nas vazões dos rios Pojuca, Paraguaçu e Grande – cenários de 2070 a 2100

*Fernando Genz\**

*Clemente Augusto Souza Tanajura\*\**

*Heráclio Alves Araújo\*\*\**

\* Doutor em Geologia pela Universidade Federal da Bahia (UFBA); mestre em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental e Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Pesquisador do CNPq/CT-Energ. fgenz@pq.cnpq.br

\*\* Ph.D. em Meteorologia pela Universidade de Maryland, College Park, EUA; mestre em Engenharia Nuclear pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Professor adjunto do Departamento de Física da Terra e do Meio Ambiente; doutor Instituto de Física da Universidade Federal da Bahia (UFBA). cast@ufba.br

\*\*\* Mestre e graduado em Meteorologia pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG); especialista em Gerenciamento de Recursos Hídricos Aspectos Técnicos, Jurídicos e Institucionais pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Meteorologista do Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (Inema). heracio.araujo@gmail.com

## Resumo

Os impactos das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos no estado da Bahia foram quantificados nas bacias hidrográficas dos rios Pojuca, Paraguaçu e Grande, segundo as projeções do clima futuro derivadas do modelo regional do clima HadRM3P para o período de 2070 a 2100, para os cenários B2 e A2 de emissões de gases do efeito estufa. Apesar de o modelo ter representado bem o clima do tempo presente, houve subestimação da precipitação, sendo necessário proceder a sua correção antes da simulação hidrológica. O modelo hidrológico MGB-IPH mostrou um bom ajuste aos dados observados entre 1960 e 1990. Sob influência do cenário A2 do clima futuro, estimou-se a redução da vazão média anual em 94%, 73% e 44%, respectivamente para os rios Pojuca, Paraguaçu e Grande.

**Palavras-chave:** Simulação hidrológica. Mudanças climáticas. 2070 a 2100.

## Abstract

*The impacts of climate change on water resources in Bahia were quantified in the basins of the Pojuca, Paraguaçu and Grande rivers, according to the projections of future climate derived from the regional climate model HadRM3P. The period under consideration ranges from 2070 to 2100 and simulations were performed for the B2 and A2 greenhouse gas emissions scenarios. Although the model accurately represented the present-day climate, precipitation was underestimated, rendering a bias correction necessary before effecting the hydrologic simulation. The hydrological model MGB-IPH showed a good fit to the observed data (1960 to 1990). Under the influence of the A2 future climate scenario, the mean annual discharge is expected to decrease by 94%, 73% and 44% respectively for the Pojuca, Paraguaçu and Grande rivers.*

**Keywords:** Hydrological simulation. Climate change. 2070 to 2100.

## INTRODUÇÃO

Com o aumento da temperatura global previsto para este século, os impactos associados às mudanças climáticas serão sentidos em todo o mundo e, provavelmente, terão implicações profundas para a população humana. Portanto, torna-se prioritário aumentar o conhecimento de como o clima da região pode mudar e avaliar os riscos das mudanças climáticas regionais. Essa informação é fundamental para servir de subsídio aos sistemas de tomada de decisão na formulação de estratégias de mitigação e planejamento de adaptação (MARENGO; BETTS, 2011).

O período de 2000 a 2009 foi considerado como a década com a temperatura média global do ar mais elevada desde 1880, segundo dados calculados pelo Godart Institute of Space Studies (GISS), da NASA, reforçando a tendência de aumento da temperatura global da Terra, apesar das variabilidades interanuais (HANSEN *et al.*, 2010).

As atuais projeções de mudanças climáticas globais indicam que, assim como a maioria das regiões do mundo, o Brasil também estará vulnerável aos efeitos das mudanças climáticas. Como a população e as atividades são sensíveis ao clima, a natureza e o nível das mudanças no futuro podem ser muito importantes para a vida no país. Alguns estudos mostraram que as mudanças climáticas podem resultar na transformação do semiárido nordestino em deserto (MARENGO; BETTS, 2011).

Os riscos das mudanças climáticas têm sido avaliados através de estudos de impactos sobre as diversas áreas do conhecimento. No que se refere aos efeitos das mudanças climáticas sobre migrações e saúde no Nordeste, o estudo realizado pelo Cedeplar, da UFMG, e Fiocruz (2008) indica queda no PIB, redução das áreas cultiváveis, agravamento de doenças na população de idosos, maior

suscetibilidade à desnutrição infantil e aumento da taxa de migração para os centros urbanos.

Na parte ambiental, a mudança climática poderá alterar a estrutura e o funcionamento dos ecossistemas, com a consequente perda de biodiversidade e de recursos naturais, ainda mais quando se somam sinergicamente às mudanças climáticas os efeitos das alterações da cobertura de vegetação, es-

**As atuais projeções de mudanças climáticas globais indicam que, assim como a maioria das regiões do mundo, o Brasil também estará vulnerável aos efeitos das mudanças climáticas**

pecialmente os desmatamentos. Alterações das rotas migratórias e mudanças nos padrões reprodutivos são alguns desses efeitos. Teme-se que a capacidade de absorção de carbono das florestas tropicais, muito sensíveis à mudança climática, diminua com o tempo, e que estas deixem de funcionar como eliminadores de carbono e passem a ser fonte de emissão deste gás. No pior cenário, a Amazônia poderá virar Cerrado até o final do século XXI, devido ao aumento na concentração de gases de efeito estufa (MARENGO *et al.*, 2007).

As projeções para o futuro de mudanças na temperatura e, principalmente, na precipitação indicam impactos diretos sobre a quantidade e qualidade dos recursos hídricos em todas as regiões do país. No caso da Região Nordeste, onde se inserem as bacias hidrográficas em estudo, as projeções das mudanças climáticas, segundo o quarto relatório do IPCC (SALOMON *et al.*, 2007), são de elevação da temperatura em até 4° C (cenário A2 de emissões de gases) e redução da chuva.

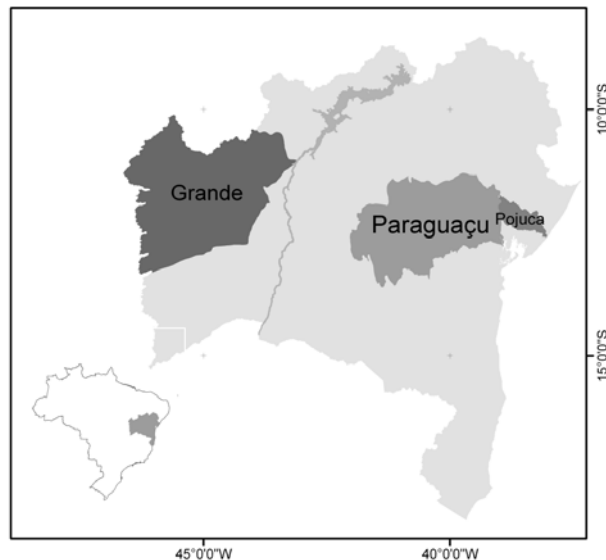
No que se refere aos recursos hídricos, os estudos de impacto buscam quantificar os efeitos das alterações do clima sobre a disponibilidade hídrica. Estudos utilizando simulações do balanço hídrico para as diversas regiões do Brasil, considerando as projeções de temperatura e chuva dos cenários futuros de clima, sugerem, no cenário de maiores emissões, uma tendência de extensão da deficiência hídrica por praticamente todo o ano no Nordeste, o que, no presente, acontece

durante os meses de estiagem. Isto é, há uma tendência a “aridização” da região semiárida até o final do século XXI (MARENGO *et al.*, 2007). O alto potencial de evaporação, combinado com o aumento da temperatura, deve resultar na diminuição da água dos lagos, açudes e reservatórios (MARENGO, 2008), acentuando a baixa disponibilidade hídrica.

Sendo um bem essencial à vida dos habitantes do planeta, e com o crescimento populacional e o consequente aumento da demanda de uso, a água tornou o planejamento e a gestão dos recursos hídricos uma tarefa obrigatória para os governos e a sociedade. A partir de Lei 9.433, de 1997, vários planos de desenvolvimento de bacias hidrográficas foram preparados, porém sem considerar, no longo prazo, os efeitos das mudanças climáticas. Desta maneira, ainda existe a necessidade de incorporar os estudos de impactos das mudanças climáticas para permitir avaliar a vulnerabilidade e a capacidade de adaptação dos sistemas de recursos hídricos a essa nova situação.

Nos últimos anos, a divulgação dos estudos de impactos das projeções de clima futuro sobre os recursos hídricos tem se tornado mais frequente (WOOD *et al.*, 2004; DIAZ-NIETO; WILBY, 2005; MILLY; DUNNE; VECCHIA, 2005, UK MET OFFICE, 2005; SCHAEFLI *et al.*, 2007; LENDERINK; BIUSHAND; VAN DEURSEN, 2007; KILSBY *et al.*, 2007; PURKEY *et al.*, 2008; MINVILLE; BRISSETTE; LECONTE, 2008; GARDNER, 2009; MAURER; ADAM; WOOD, 2009; VAN ROOSMALEN *et al.*, 2010, CHIEW *et al.*, 2010).

Visando à quantificação dos impactos das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos no estado da Bahia, este trabalho apresenta os resultados para três bacias hidrográficas de características climáticas e hidrológicas representativas (rios Pojuca, Paraguaçu e Grande), segundo a projeção do clima futuro obtida pelo modelo regional do clima HadRM3P para o período de 2070 a 2100, para os cenários B2 e A2 de emissões de gases do efeito estufa.



**Figura 1**  
Localização das bacias hidrográficas dos rios Grande, Paraguaçu e Pojuca

Fonte: Elaboração própria.

## ÁREA DE ESTUDO E DADOS

### Área de estudo

O estado da Bahia tem uma área de 567.693 km<sup>2</sup>, com cerca de 57% do seu território em ambiente com clima semiárido e vegetação original de Catinga, 17% no ambiente de Cerrado e o restante em área originalmente coberta por Mata Atlântica. Essa área desenvolve-se junto da extensa faixa litorânea (1.183 km), começando estreita no litoral norte, até abranger toda a região sul do estado. Para o estudo de impacto das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos, foram escolhidas as bacias hidrográficas do Rio Grande, Rio Paraguaçu e Rio Pojuca para representar cada uma dessas regiões.

A bacia hidrográfica do Rio Grande está inserida na região de Cerrado, na porção oeste da Bahia, com uma área de drenagem de 77.000 km<sup>2</sup>, sendo um importante afluente do Rio São Francisco (Figura 1). Toda a área do Cerrado tem rios perenes sustentados por um aquífero sedimentar. Os solos predominantes são profundos e bem drenados. Outras características relevantes da região são as

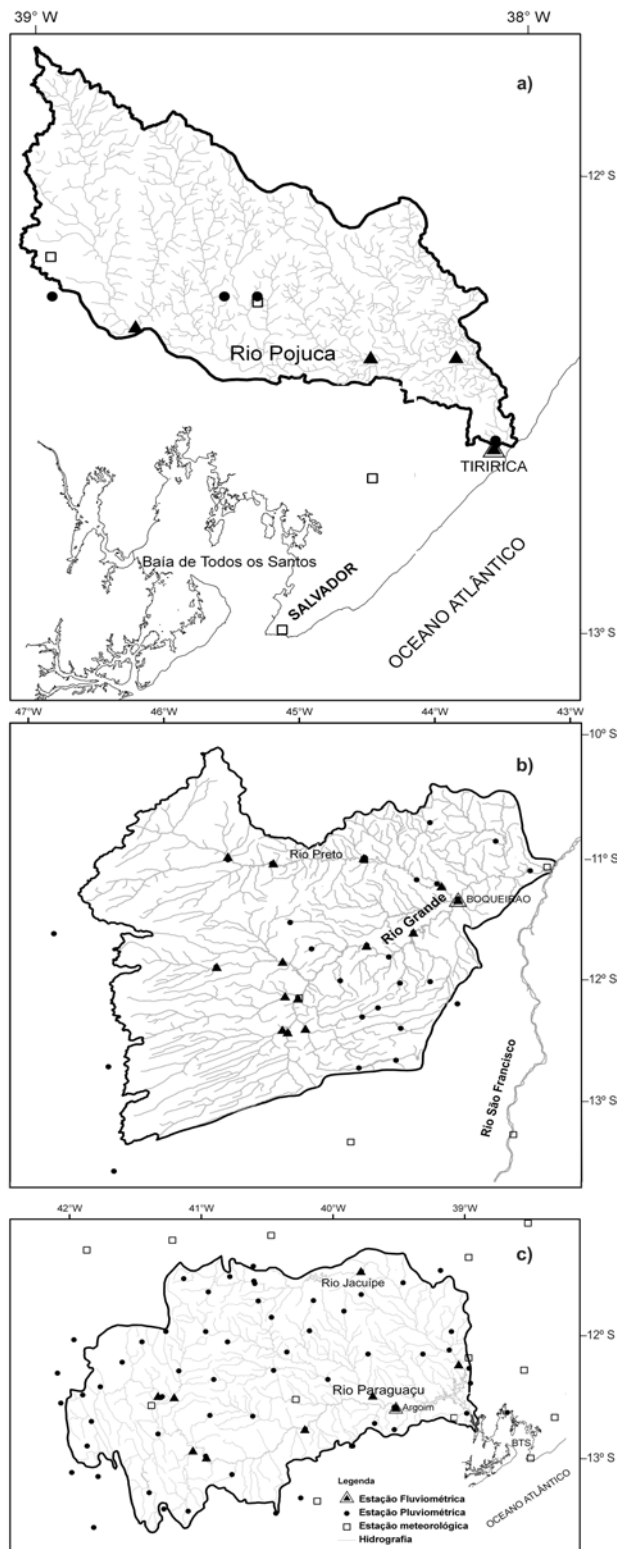
condições climáticas, o relevo suave e a disponibilidade hídrica, que permitiram forte investimento no agronegócio. Atualmente, a implantação de pequenas usinas hidrelétricas está se intensificando.

O Rio Pojuca localiza-se na porção norte do litoral (Figura 1) e abrange uma área de 5.000 km<sup>2</sup>. Sua confluência com o Oceano Atlântico fica a cerca de 50 km da capital Salvador. A bacia hidrográfica do Rio Pojuca representa bem as condições hidrológicas dos rios litorâneos, que são perenes, mas com áreas de drenagem de pequeno porte (inferiores a 5.000 km<sup>2</sup>). As bacias têm altos índices de precipitação na sua porção próxima do litoral – cerca de 2.000 mm – e forte redução à medida que penetram no continente. Este rio também apresenta condições hidrológicas semelhantes às dos rios Jacuípe e Joanes, que são os mananciais responsáveis por 40% do volume de água necessário para abastecer a Região Metropolitana de Salvador.

A bacia hidrográfica do Rio Paraguaçu está completamente inserida na região semiárida. O Rio Paraguaçu afluí para o Oceano Atlântico através da Baía de Todos-os-Santos e abrange uma área de 56.000 km<sup>2</sup> (Figura 1). Os solos predominantes são pouco desenvolvidos e rasos, com exceção da área das nascentes na Chapada Diamantina. O armazenamento de água em reservatórios é o sistema dominante para o abastecimento humano e animal e para desenvolver a agricultura. A água proveniente do Rio Paraguaçu contribui com 60% do abastecimento de água potável da região metropolitana da capital Salvador. O Banco Mundial e o governo estadual fizeram grandes investimentos em infraestrutura hídrica na última década, com a implantação de sistemas de barragens em cascata, adutoras para abastecimento humano e sistemas de irrigação. No entanto, os projetos não consideraram os cenários de mudanças climáticas.

### Dados observados

Os dados observados no clima presente (1960 a 1990) são oriundos das estações meteorológicas



**Figura 2**  
Bacias hidrográficas, estações pluviométricas, meteorológicas e fluviométricas  
Rio Pojuca (a) – Rio Grande (b) – Rio Paraguaçu (c)

Fonte: Elaboração própria.



do Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet) para o clima, enquanto que os dados dos postos pluviométricos e fluviométricos provêm da base de informações da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (Sudene) e da Agência Nacional das Águas (ANA).

Após a análise da extensão da série e da qualidade dos dados, os postos pluviométricos e fluviométricos foram selecionados para subsidiar o ajuste e simulação do modelo hidrológico para o cenário atual. A Figura 2 apresenta a localização das estações pluviométricas, climatológicas e fluviométricas nas bacias hidrográficas dos rios Pojuca, Grande e Paraguaçu.

### Modelo climático

As simulações do clima presente foram produzidas pelo modelo regional da atmosfera HadRM3P para o período de janeiro de 1960 a dezembro de 1990. O domínio do modelo regional foi de aproximadamente 95°W-20°W, 40°S-10°N, integrado com resolução horizontal de 50 km, 19 níveis verticais da superfície até 30 km de altura e quatro níveis no solo. Ele foi aninhado no modelo global HadAM3 configurado com 19 níveis na vertical e uma resolução de 2,5° de latitude por 3,75° de longitude, equivalente a uma resolução de 417 km x 278 km no equador, e 295 km x 278 km a 45° de latitude. Ambos os modelos, regional e global, para o clima presente foram forçados com a temperatura da superfície do mar (TSM) observada com 1° de resolução espacial. Todas as integrações foram realizadas no Met Office Hadley Centre, na Inglaterra.

O modelo global HadAM3 é o componente atmosférico do modelo global atmosfera-terra-oceano-gelo HadCM3, que foi usado para produzir os cenários A2 e B2 do IPCC entre 2070 e 2100. Ele permite a emissão, transporte e oxidação de compostos de enxofre e, com isso, modela os efeitos diretos e indiretos das forçantes de sulfatos no clima. Mais referências sobre os modelos HadRM3P

e HadAM3 podem ser encontradas em PRECIS (PROVIDING REGIONAL CLIMATES FOR IMPACTS STUDIES, 2002).

Os dados diários do HadRM3P utilizados foram a temperatura média do ar a 2 m, a umidade relativa do ar a 2 m, os ventos zonal e meridional a 10 m, a pressão reduzida ao nível do mar e a precipitação.

## METODOLOGIA

### Validação do modelo climático

O valor diário da variável do modelo produzida pela simulação do clima presente de 1960 a 1990 ao longo dos 30 anos foi inicialmente interpolado bilinearmente para o ponto de cada estação. Depois, os valores diários da simulação e da observação para cada ponto de observação foram acumulados em valores mensais. A partir dos valores mensais, foi então calculada a raiz quadrada do erro quadrático médio ( $EQM$ ) para cada mês e o erro médio ( $EM$ ) para cada estação. O  $EQM$  é definido por:

$$EQM = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (Xm_n - Xo_n)^2} \quad \text{Equação (1)}$$

onde  $Xm_n$  é o valor mensal da variável do modelo na estação  $n$ ;  $Xo_n$  é o valor mensal da variável observada na estação  $n$ ;  $N = 29$ .

O  $EM$  é definido para cada estação por:

$$EM = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (Xm_t - Xo_t) \quad \text{Equação (2)}$$

onde  $Xm_t$  é o valor mensal da variável do modelo no mês  $t$ ;  $Xo_t$  é o valor mensal da variável observada no mês  $t$ ;  $T$  é o número total de meses de simulação.

### Correção da precipitação

Os estudos hidrológicos necessitam de dados de entrada em detalhamento suficiente para uma

boa caracterização das condições climáticas de uma bacia hidrográfica. Como as células de simulação utilizadas pelos modelos climáticos globais (MCG) têm mais de centenas de quilômetros, a aplicação dos dados do clima futuro necessita passar pelo reescalonamento das informações, chamado de *downscaling*, de maneira que a resolução seja compatível com o tamanho das bacias e suas características.

Embora o presente trabalho utilize dados de um modelo de clima regional (MCR), que é um método de *downscaling* dinâmico, a discrepância entre a precipitação simulada e a observada necessitou a aplicação de métodos de correção da precipitação, como também foi relatado em outros trabalhos (Wood *et al.*, 2004; Fowler; KILSBY; STUNELL, 2007; Thodsen, 2007; Van Roosmalen *et al.*, 2010).

Um procedimento relativamente simples para a correção da precipitação envolve o uso de fatores de perturbação. O método modifica a série histórica, aplicando a diferença entre o clima futuro e o presente simulada por um MCG ou um MCR. Os fatores de perturbação geralmente são definidos para cada mês. As principais vantagens para a abordagem dos fatores de perturbação são a facilidade e a velocidade de aplicação, assim como a correção direta do cenário conforme as mudanças sugeridas pelo MCG ou MCR.

O método do fator de mudança (*delta change*) tem sido bastante utilizado para determinar os fatores de perturbação. Neste trabalho, a correção da precipitação foi realizada de duas maneiras:

- A diferença entre a precipitação obtida pelo modelo climático para os cenários do presente e do futuro é aplicada às precipitações observadas. Os cenários corrigidos e de referência diferem apenas em termos de suas respectivas médias, máximas e mínimas. Todas as outras propriedades dos dados, tais como a faixa de valores e a variabilidade temporal, permanecem inalteradas. O procedimento também assume que o padrão espacial do clima atual permanecerá

inalterado no futuro. No caso de chuva, o sequenciamento temporal de dias úmidos e secos não é alterado. Este método foi utilizado por Diaz-Nieto e Wilby (2005), Minville, Brissette e Leconte (2008) e Van Roosmalen e outros (2010).

- A diferença entre a precipitação observada e aquela simulada para o clima presente foi utilizada para corrigir a precipitação do cenário futuro. Desta maneira, as novas características de precipitação são consideradas nas simulações hidrológicas. A limitação reside em considerar que o erro entre a precipitação observada e simulada para o clima presente se mantém no futuro. O método foi utilizado por Thodsen (2007), Fowler, Kilsby e Stunell (2007) e Chiew e outros (2010).

Apesar das limitações, Chiew e outros (2010) consideravam que o método de correção pelo fator de mudança pode ser usado para estudos de impactos hidrológicos de áreas grandes, particularmente quando as principais preocupações estão relacionadas com as mudanças na sazonalidade e na disponibilidade anual.

As precipitações corrigidas para a simulação hidrológica do cenário futuro pelo método do fator de mudança ficaram assim definidas:

FATOR 1 (*FMI*):

$$P_{i,k} = Pobs_{i,k} \cdot FMI_k \quad \text{Equação (3)}$$

$$FMI_k = Pscen_k / Pbase_k \quad \text{Equação (4)}$$

onde:  $P_{i,k}$  = precipitação do dia  $i$  do mês  $k$  do cenário futuro;  $Pobs_{i,k}$  = precipitação observada no dia  $i$  do mês  $k$ ;  $FMI$  = fator de mudança do mês  $k$ ;  $Pscen_k$  = precipitação média do mês  $k$  no cenário futuro; e  $Pbase_k$  = precipitação média do mês  $k$  no cenário do clima presente;  $k = 1$  a  $12$ .

FATOR 2 (*FM2*):

$$P_{i,k} = Pscen_{i,k} \cdot FM2_k \quad \text{Equação (5)}$$

$$FM2_k = Pobs_k / Pbase_k \quad \text{Equação (6)}$$

onde:  $P_{i,k}$  = precipitação do dia  $i$  do mês  $k$  do cenário futuro;  $Pscen_{i,k}$  = precipitação média do mês  $k$  no cenário futuro;  $FM2$  = fator de mudança do mês  $k$ ;  $Pobs_{i,k}$  = precipitação média observada no

mês  $k$ ; e  $P_{base_k}$  = precipitação média do mês  $k$  no cenário do clima presente;  $k = 1$  a 12.

A precipitação fornecida pelo modelo climático foi interpolada linearmente para as coordenadas dos postos pluviométricos utilizados para a calibração e simulação do clima presente. Após a correção da precipitação, a espacialização foi realizada pelo método do inverso do quadrado da distância para todas as simulações hidrológicas, inclusive dos cenários futuros A2 e B2.

### Modelo hidrológico

A avaliação dos efeitos da mudança climática na disponibilidade hídrica implica transformar as saídas do modelo de clima regional de interesse em vazão, através de um modelo hidrológico. O modelo hidrológico para grandes bacias hidrográficas MGB-IPH (COLLISCHONN; TUCCI, 2001; COLLISCHONN *et al.*, 2007; PAZ; COLLISCHONN, 2007) foi utilizado para realizar o processo de transformação de chuva em vazão. O MGB-IPH é um modelo hidrológico distribuído, que, na versão aplicada, efetua o balanço hídrico em células quadradas regulares, considerando a evapotranspiração, o balanço de água no solo, os escoamentos superficial, subsuperficial e subterrâneo, e, por fim, integra o escoamento na rede de drenagem. O módulo de balanço de água no solo foi simplificado, e a metodologia de Muskingun-Cunge foi utilizada no módulo de escoamento na rede de drenagem (COLLISCHONN; TUCCI, 2001).

O modelo hidrológico foi calibrado com dados observados e alimentado com saídas do MCR para o clima presente e para os cenários do futuro. A temperatura do ar, a umidade relativa do ar, o vento e a pressão atmosférica foram representados pelos valores da climatologia mensal do cenário futuro. A insolação foi mantida igual àquela do clima presente por falta de informações. A cobertura e uso do solo não foram alterados.

As funções de otimização da fase de calibração são: o coeficiente de Nash das vazões calculadas

e observadas (R2), coeficiente Nash modificado para o logaritmo das vazões e a diferença entre volumes calculados e observados ( $\Delta V$ ).

A simulação hidrológica passa pelas seguintes etapas:

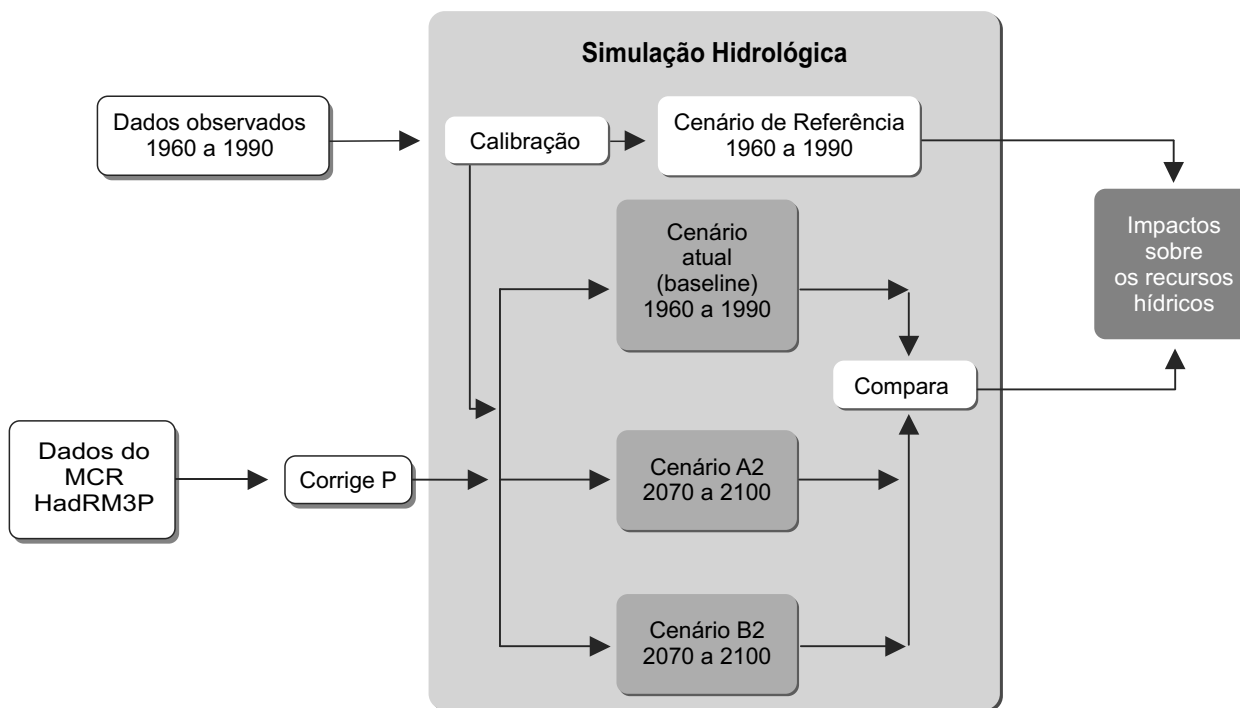
- coleta de dados observados (precipitação, clima, vazão);
- calibração e simulação hidrológica, resultando no cenário de referência das vazões no clima atual;
- modelo hidrológico usa os dados do MCR simulados para representar o clima atual, resultando no cenário chamado de *baseline*;
- correção da precipitação, quando for o caso;
- modelo hidrológico usa os dados do MCR simulados para representar o clima do futuro, resultando nos correspondentes cenários segundo as emissões de gases (neste trabalho: B2 e A2). A Figura 3 ilustra esquematicamente as simulações hidrológicas necessárias para determinar os impactos das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos.

### Experimentos

Além de seguir as etapas indicadas na Figura 3, foram realizados os seguintes experimentos:

- Cenário atual de referência, considerando a precipitação e o clima observados – (Calculado).
- Cenários futuros, considerando somente a alteração da precipitação (Cenário\_P).
- Cenários futuros, considerando a alteração da precipitação (Experimento 2) e da temperatura do ar, da umidade do ar e do vento a 10 m (Cenário\_Clima).
- Precipitação obtida pelo método de correção Fator 1 (FM1) para o clima presente e futuro.
- Precipitação obtida pelo método de correção Fator 2 (FM2) para o clima presente e futuro.

As vazões obtidas para os cenários B2 e A2 por cada método foram comparadas com aquelas derivadas para o cenário presente (*baseline*). A



**Figura 3**  
Visão esquemática das simulações hidrológicas necessárias para determinar os impactos das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos

Fonte: Elaborado pelo autor.

proporção de alteração foi usada para corrigir as vazões características (média, máxima e mínima) derivadas da simulação hidrológica realizada com as precipitações observadas (cenário de referência). Desta forma, os valores de vazão dos cenários futuros podem ser comparados diretamente, evitando que as diferenças entre os valores absolutos obtidos pelos diferentes métodos de correção da precipitação interfiram na análise dos resultados.

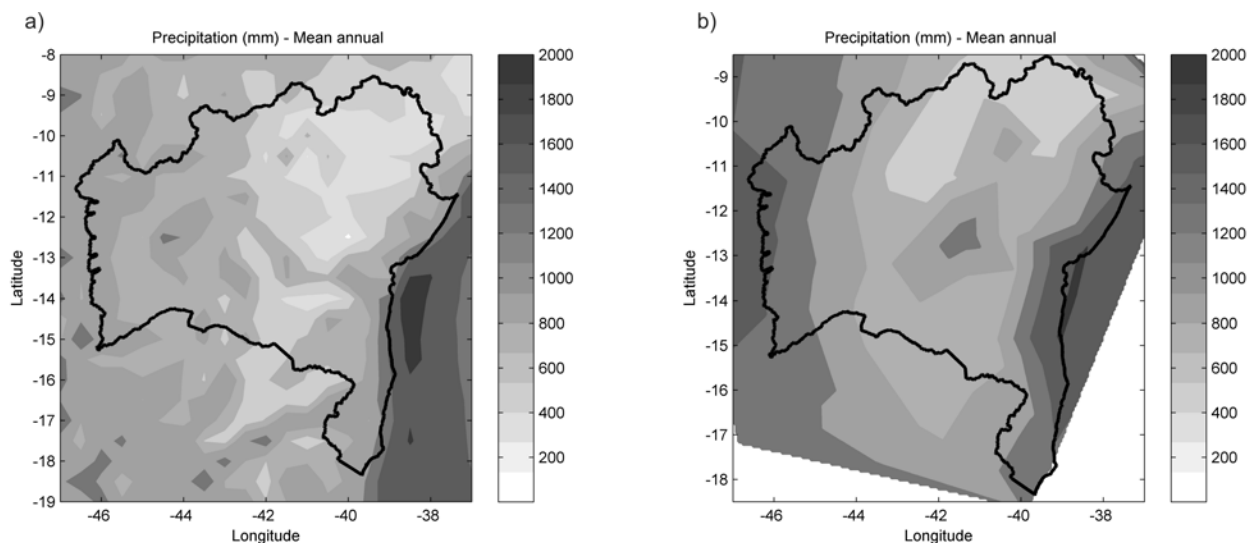
## RESULTADOS

### Modelo climático

O modelo HadRM3P reproduziu com acurácia a distribuição espacial da média anual e do ciclo sazonal de precipitação e da temperatura do ar a 2 m sobre o estado da Bahia. Entretanto, algumas discrepâncias em relação à climatologia foram observadas, como esperado para qualquer modelo numérico.

A comparação da precipitação climatológica anual produzida pelo HadRM3P com as observações está apresentada na Figura 4. O modelo produz um padrão de distribuição próximo do observado, com maior precipitação em toda a faixa litorânea e no oeste do estado, e com menor precipitação no nordeste. Entretanto, os valores simulados são inferiores aos observados na maior parte do estado. Na faixa litorânea, o modelo produz entre 900 e 1.500 mm, enquanto as observações variam entre 1.200 e 1.800 mm. No extremo oeste, o modelo produz valores entre 700 e 1.000 mm, e as observações estão entre 900 a 1.500 mm. No nordeste do estado, na região entre 42°W-38°W, 13°S-9°S, o modelo simula valores abaixo de 500 mm, e as observações apresentam valores entre 500 e 700 mm.

Em relação à temperatura a 2 m, o modelo simulou valores em DJF (dezembro-janeiro-fevereiro) e MAM (março-abril-maio) menores que as observações, de 1° a 2° C. Em JJA (junho-julho-agosto)



**Figura 4**  
Precipitação climatológica anual (mm) de acordo com (a) o HadRM3P e (b) dados observado

Fonte: Elaborado pelo autor.

e SON (setembro-outubro-novembro), simulou valores maiores, de 1° a 3° C. O erro absoluto médio anual da temperatura a 2 m ficou entre -1° e 1° C na maior parte do estado.

De forma geral, a avaliação objetiva do modelo em relação aos dados observados sobre o período 1960-1990 indicou que as magnitudes dos erros quadráticos médios e dos erros absolutos médios de temperatura a 2 m, umidade relativa a 2 m, pressão de superfície e intensidade do vento de superfície foram relativamente pequenas (ver Tabela 1 e Tabela 2). Os erros da precipitação foram maiores, com tendência de subestimativa. Entretanto, esses erros não desqualificam o modelo para ser usado em experimentos numéricos para investigação dos efeitos das mudanças climáticas, uma vez que a simulação e a previsão acurada da distribuição e magnitude da precipitação são, ainda hoje, uma real limitação dos modelos atmosféricos. Maiores detalhes sobre a validação do modelo podem ser obtidos em Tanajura, Genz e Araújo (2010).

A comparação dos resultados do HadRM3P sob os cenários A2 e B2 com a simulação do clima presente indica a redução de precipitação e o aumento da temperatura a 2 m em todo o estado da Bahia

(Figura 5). O mesmo padrão espacial de modificação da temperatura a 2 m e da precipitação foi produzido para os dois cenários, mas com maiores magnitudes para o A2. A maior redução de precipitação anual foi observada no litoral – cerca de 70%

**Tabela 1**  
Resumo dos resultados para o EQM

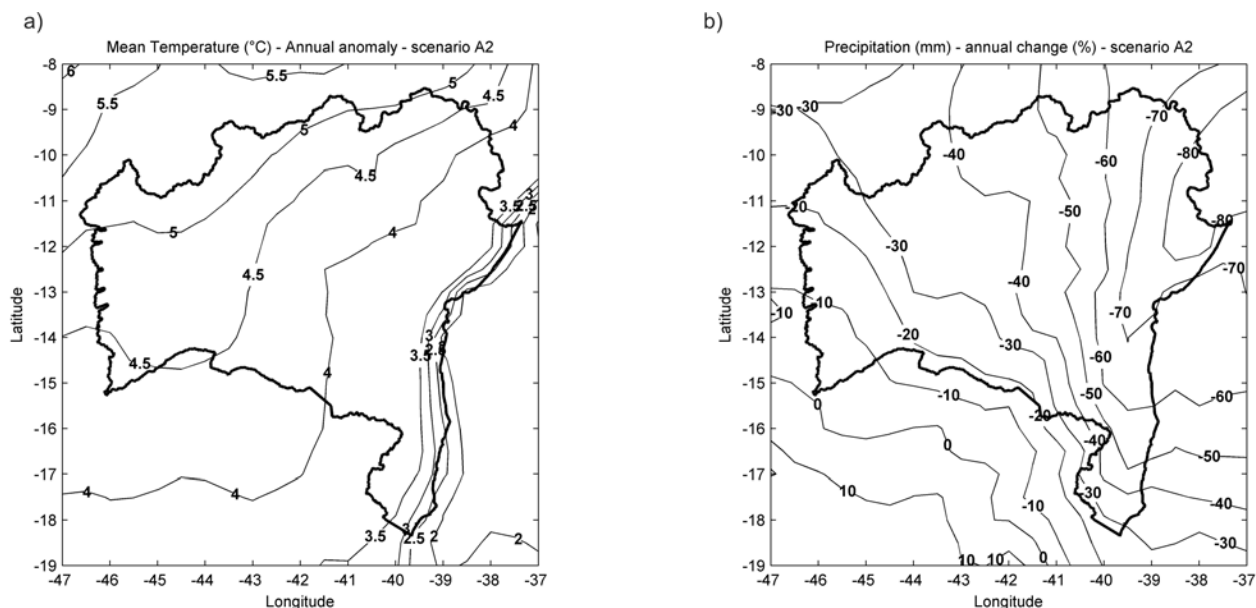
	Temperatura do ar [°C]	Umidade relativa do ar [%]	Pressão atmosférica [hPa]	Vento total [m/s]	Precipitação [mm]
Média	1,20	7,66	10,9	1,08	64,4
Desvio padrão	0,39	3,01	2,5	0,32	38,6

Fonte: Elaborado pelo autor.

**Tabela 2**  
Resumo dos resultados para o EM

Erro médio	Temperatura do ar [°C]	Umidade relativa do ar [%]	Pressão atmosférica [kPa]	Vento total [m/s]	Precipitação [mm]	
					Mensal	Anual
Média	0,38	-0,49	-0,12	0,58	-20,86	-250,27
Desvio	0,89	4,22	1,36	0,76	20,85	250,20
Máximo	3,40	10,07	3,30	2,12	8,90	106,77
Mínimo	-1,16	-10,51	-3,62	-1,15	-69,53	-834,42

Fonte: Elaborado pelo autor.



**Figura 5**  
 Anomalia da temperatura (°C) e precipitação anual (%) de acordo com o MCR HadRM3P  
 cenário A2 – 2070 a 2100

Fonte: Elaborado pelo autor.

tanto para o A2 como para o B2. O semiárido sofreu reduções de precipitação anual entre 20% e 60% no cenário A2 e entre 20% e 50% no cenário B2. Os maiores aumentos de temperatura do ar foram produzidos no noroeste e no norte do estado, em aproximadamente 5,5° C para o A2 e 4,5° C para o B2. No litoral, os aumentos ficaram entre 2° e 3,5° C para o A2 e entre 1,5° e 2,5° C para o B2.

### Precipitação corrigida para os cenários futuros

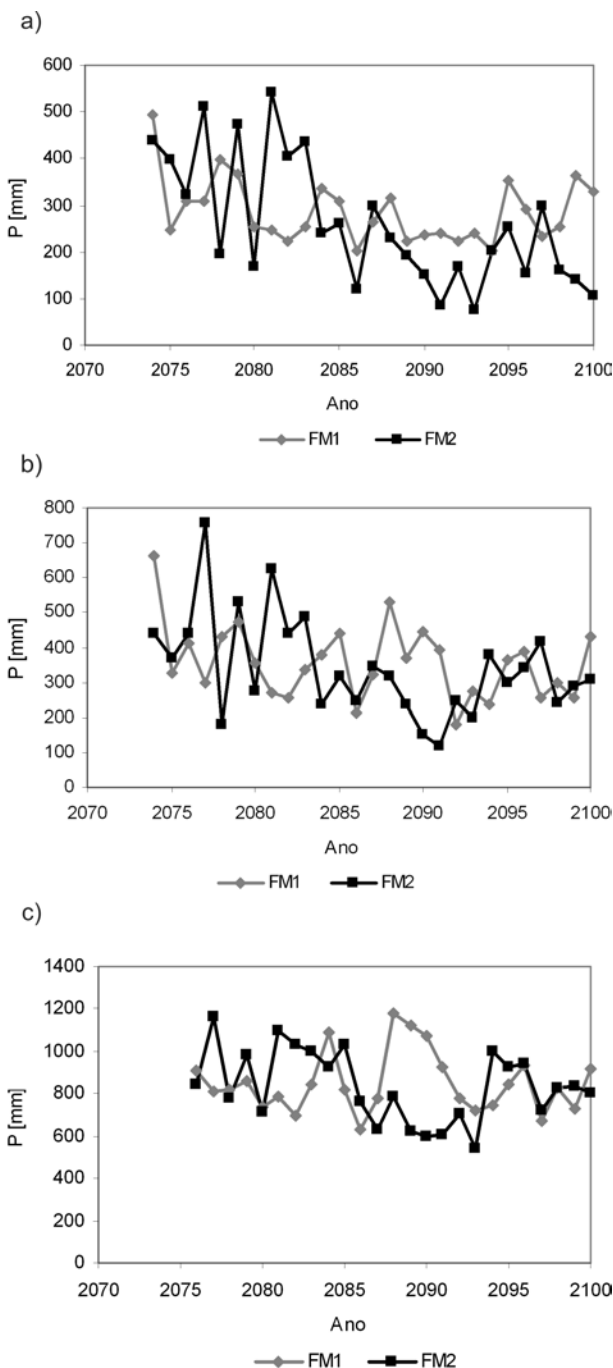
A precipitação obtida através dos métodos de correção, descritos na metodologia, para fins de análises foi resumida nos valores anuais, média anual, máxima diária e média mensal.

A precipitação anual média (PAM) foi determinada para cada bacia hidrográfica. Em valores absolutos, a PAM nas três bacias hidrográficas resultou praticamente igual para ambos os cenários A2 e B2 e para os dois métodos. No Rio Pojuca, a PAM corrigida ficou entre 20% e 26% da precipitação observada entre 1964 e 1990 (1.301 mm). No Rio Paraguaçu, a PAM corrigida variou entre 43%

e 46% do valor observado entre 1964 e 1990 (786 mm), enquanto que no Rio Grande a precipitação resultou entre 76% e 77% do valor observado entre 1966 e 1990 (1.095 mm). Somente na bacia do Rio Pojuca, cuja projeção de redução na precipitação foi a maior de todas, a PAM corrigida para o cenário A2 foi 4% menor que aquela do cenário B2 no resultado dos dois métodos.

Quando se considera a variação interanual da precipitação, a diferença de abordagem dos métodos se destaca. Observando as séries anuais da bacia do Rio Pojuca, o método de correção da precipitação FM1 apresenta a limitação de não representar a tendência de redução ao longo do tempo, mostrada na série da precipitação do método do FM2 (Figura 6). Observa-se também uma maior variabilidade anual da precipitação obtida pelo método FM2 nas bacias dos rios Pojuca e Paraguaçu, o que se reflete no aumento do desvio padrão da PAM no cenário A2.

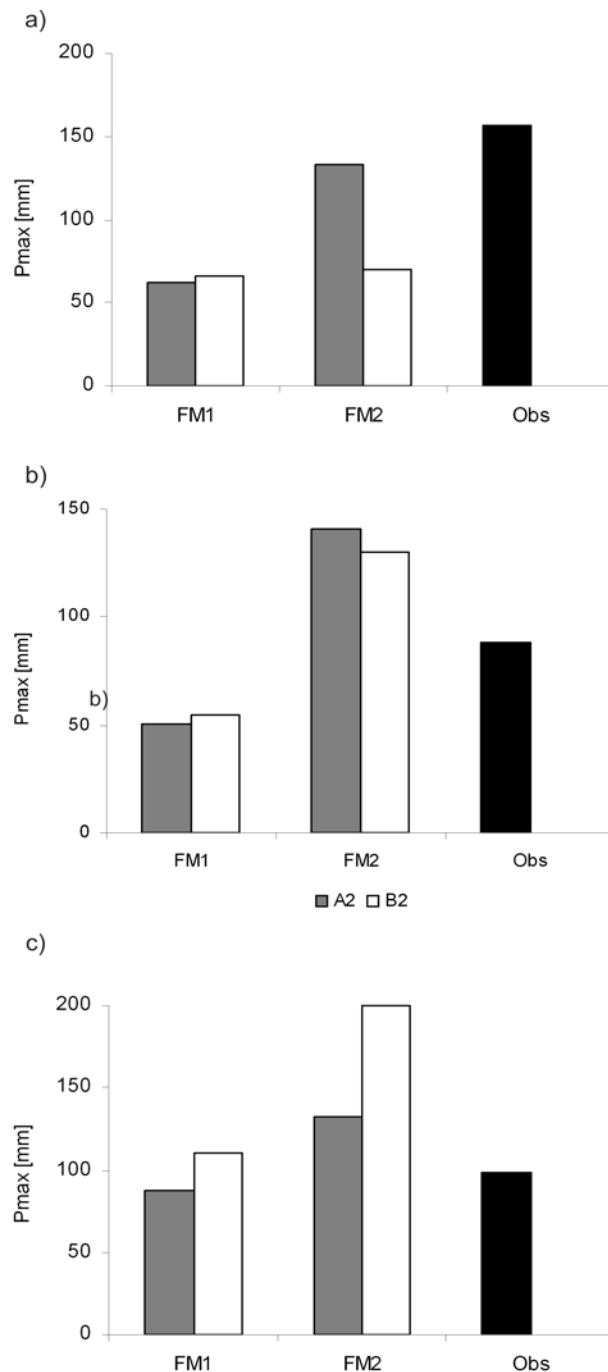
A máxima precipitação diária (Pmax) da série temporal foi determinada por sub-bacia de cada posto fluviométrico, sendo mostrada aquela de maior valor dentre as sub-bacias. A Pmax obtida



**Figura 6**  
Precipitação anual: a) Rio Pojuca –  
b) Rio Paraguaçu – c) Rio Grande  
cenário A2 – 2074 a 2100

Fonte: Elaborado pelo autor.

pelos métodos FM1 e FM2, que consideram as características da chuva gerada pelo MCR para o clima do futuro, apresenta chuva mais intensa nos cenários futuros do que aquelas corrigidas pelo método



**Figura 7**  
Precipitação máxima diária (Pmax): a) Rio Pojuca –  
b) Rio Paraguaçu – c) Rio Grande  
cenário A2 – 2070 a 2100

Fonte: Elaborado pelo autor.

FM1. O método FM2 também resultou em chuvas mais intensas no futuro do que as observadas atualmente nos rios Paraguaçu e Grande (Figura 7). No entanto, as simulações do MCR do cenário de

referência também mostram chuvas mais intensas que as observadas, o que pode ser uma tendência inerente do modelo e não de mudança na característica da Pmax.

No que se refere à variação sazonal da precipitação média mensal, ambos os métodos mostraram resultados iguais e não indicam mudança no padrão atual (não apresentados).

### Calibração do modelo hidrológico

As configurações do modelo MGB-IPH utilizadas para as simulações hidrológicas dos rios Pojuca, Paraguaçu e Grande constam na Tabela 3.

O modelo MGB-IPH apresentou boas estatísticas de ajuste aos dados de vazões diárias para as bacias (Tabela 4). O desempenho do modelo é apresentado a partir do posto fluviométrico mais representativo da bacia, que corresponde a Tiririca, no Rio Pojuca, Argoim, no Rio Paraguaçu, e Boqueirão, no Rio Grande (Figura 2).

Na bacia do Rio Grande, o modelo apresentou o melhor ajuste. No Rio Pojuca, o ajuste foi bom para as cheias médias e vazões de base (R2log),

mas, ruim para os eventos de cheias maiores (R2). Na bacia do Rio Paraguaçu, o ajuste do modelo foi menor e decorrente da baixa qualidade dos dados de precipitação (ex: sem chuva nos postos, porém com cheia no rio e vice-versa). Em todos os casos, procurou-se preservar o volume, que representa a vazão média anual ( $\Delta V$  - Tabela 4).

A Tabela 5 apresenta as vazões características (média, máxima e mínima) observadas e calculadas para as três bacias. As vazões médias e mínimas foram preservadas, sendo que a vazão máxima do Rio Pojuca resultou bem menor que a observada. Essa diferença decorre do alto grau de extrapolação da curva-chave da estação fluviométrica Tiririca. Nas demais estações, o valor da vazão máxima foi compatível com o observado.

### Simulação das vazões nos cenários de clima futuro B2 e A2 – 2070 a 2100

Os experimentos de simulação hidrológica para analisar os efeitos das mudanças climáticas nos cenários futuros B2 e A2 – 2070 a 2100 consideraram primeiro as alterações na precipitação sem

Rio	Bacia [km <sup>2</sup> ]	PAM [mm]	Sub-bacia n°	Células		Período	Uso / cobertura principal
				n°	Tamanho [km]		
Pojuca (Po)	4.627	1.301	4	611	2,5 x 2,5	1964-1990	Agropecuária – 82%
Paraguaçu (Pa)	54.131	815	6	447	10 x 10	1964-1990	Agropecuária – 71%
Grande (Gd)	77.070	1.097	5	635	10 x 10	1966-1990	Cerrado – 45% Agricultura – 37%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nota: PAM = Precipitação anual média. As sub-bacias estão associadas aos postos fluviométricos indicados na figura 2.

Bacia	Pojuca (Po)	Paraguaçu (Pa)	Grande (Gd)
R2	0,59	0,65	0,81
R2log	0,82	0,67	0,83
$\Delta V$ [%]	2,89	-7,5	2,02

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nota: R2= coeficiente de Nash;  $\Delta V$ = volume calculado-observado.

Vazão [m <sup>3</sup> /s]	Po_obs	Po_calc	Pa_obs	Pa_calc	Gd_obs	Gd_calc
Q média	37,0	39,6	92,3	95,3	286,8	293,4
Q máxima	1138	665	3132	3287	874	955
Q mínima	3,77	5,22	0,96	1,74	176	184

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nota: Po – Rio Pojuca; Pa – Rio Paraguaçu; Gd – Rio Grande; obs – observado; calc – calculado.

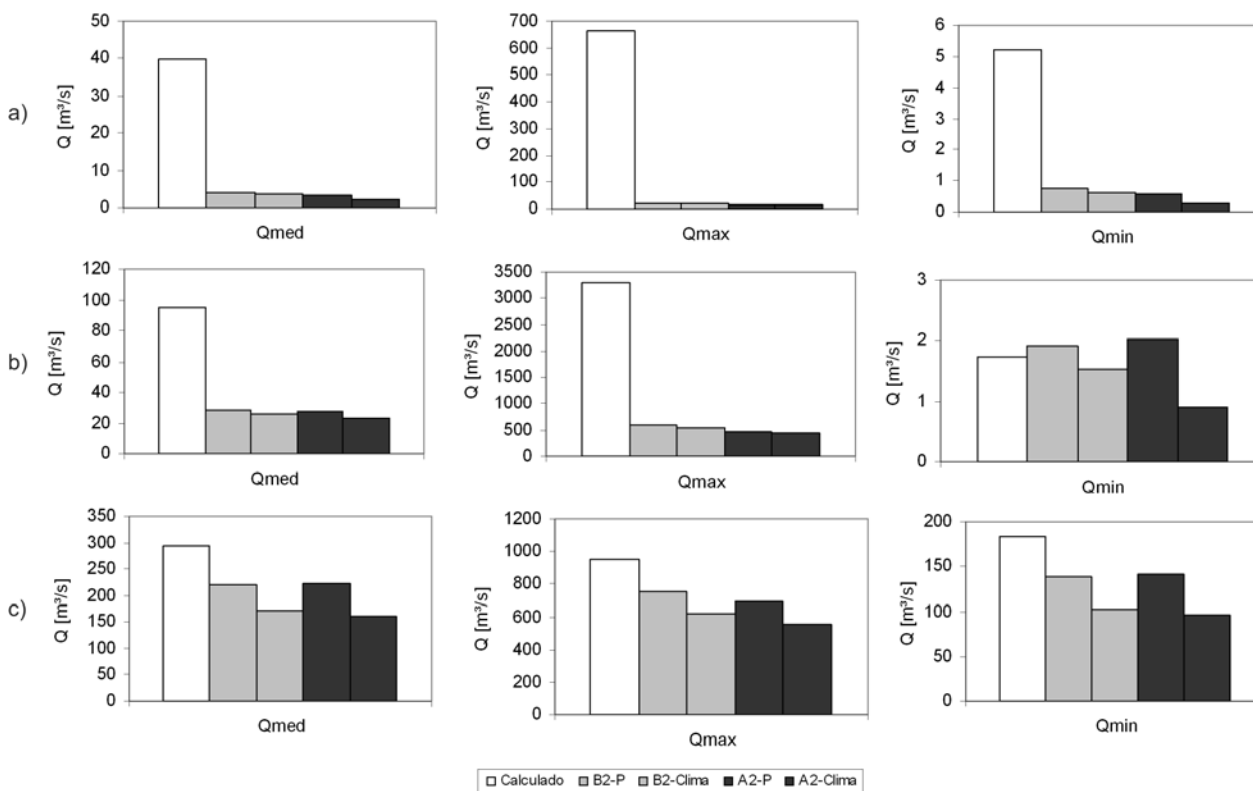


modificar as demais variáveis do clima e, em uma segunda fase, ambas as alterações foram levadas em conta. Nesses experimentos, somente serão apresentados os resultados obtidos com a correção da precipitação observada (método FM1).

Nas três bacias hidrográficas simuladas, a redução da precipitação se refletiu nas vazões, sendo acentuada com as alterações nas variáveis do clima, como pode ser observado na Figura 8. No Rio Pojuca, onde foram projetadas as maiores reduções na precipitação, considerando somente a alteração na precipitação, a vazão média (Qmed) baixou para menos de 11% (B2-P = 4,5 m³/s e A2-P = 3,2 m³/s) daquela obtida para o cenário de clima presente (39,6 m³/s). Quando as alterações nas demais variáveis do clima são incluídas, o cenário A2 (A2-Clima) resulta mais severo, levando a Qmed para 2,3 m³/s e a mínima (Qmin) para

0,26 m³/s, ou seja, o rio passa para uma condição de quase intermitência (Figura 8a).

No Rio Paraguaçu, a alteração na precipitação levou a Qmed para 28,1 m³/s e 27,7 m³/s, cerca de 30% daquela calculada para o cenário do clima presente (95,3 m³/s), respectivamente para os cenários B2-P e A2-P. Com a inclusão das alterações nas demais variáveis do clima, acrescentaram-se reduções de 2,5% e 5%, respectivamente para os cenários B2-Clima e A2-Clima. As vazões máximas (Qmax) no cenário A2 resultaram inferiores àquelas calculadas pra o clima presente em mais de cinco vezes, sendo que no cenário A2 elas foram 20% menores que aquelas do cenário B2. As vazões mínimas (Qmin) somente foram inferiores aos valores do cenário presente quando se consideraram todas as variáveis do clima (A2 e B2-Clima) (Figura 8b).



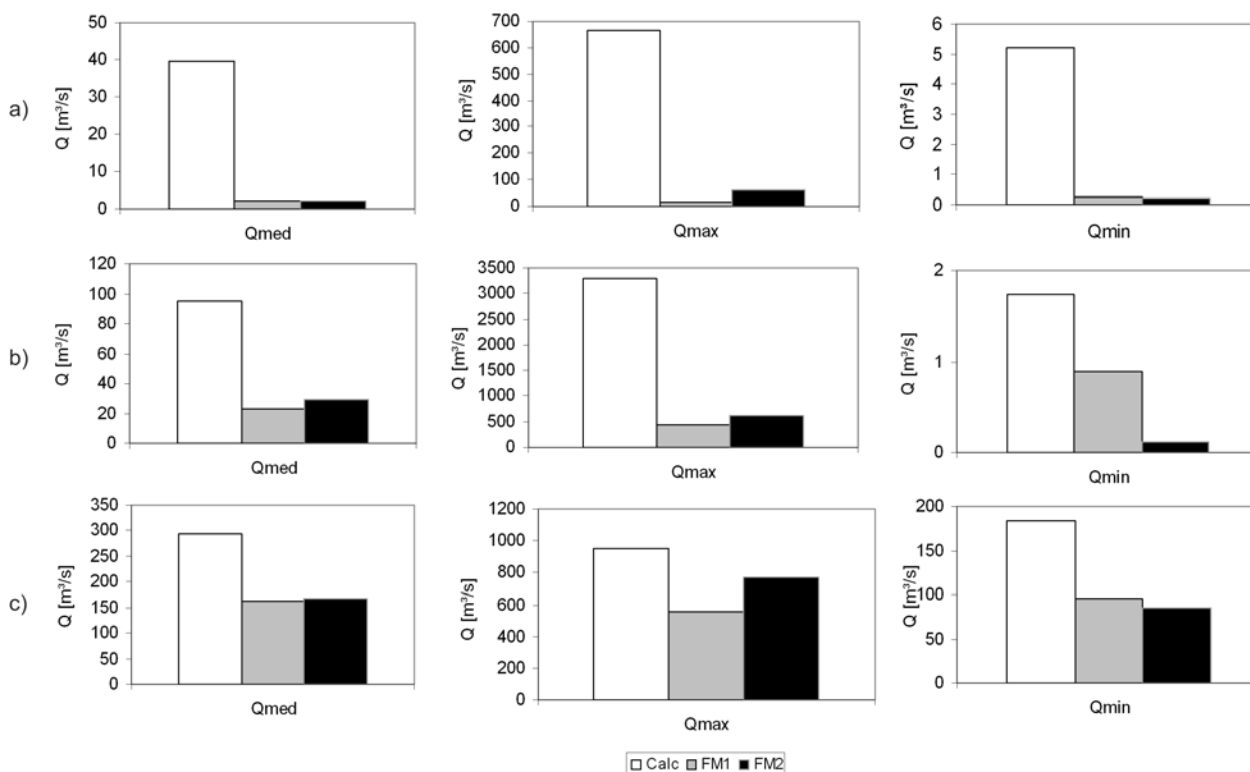
**Figura 8**  
**Efeito das mudanças na precipitação e clima nas vazões: a) Rio Pojuca. b) Rio Paraguaçu , c) Rio Grande. Correção da precipitação pelo método do FM1 para os cenários B2 e A2 – 2070-2100**

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na bacia do Rio Grande (Figura 8c), que teve a projeção de menor redução da precipitação, a Qmed baixou para cerca de 220 m<sup>3</sup>/s, 75% daquela obtida para o cenário presente (293 m<sup>3</sup>/s) para o caso da alteração da precipitação. Com a inclusão das mudanças nas demais variáveis do clima, a Qmed reduziu em mais 17% no cenário B2-Clima (170 m<sup>3</sup>/s) e em mais 21% no cenário A2-Clima (162 m<sup>3</sup>/s). Na vazão mínima, o reflexo foi maior, com acréscimo na redução de 20% e 25%, respectivamente para o cenário B2-Clima e A2-Clima. Na vazão máxima, a redução foi pequena, inferior a 15%.

Utilizando os dois métodos de correção da precipitação, as simulações hidrológicas resultaram em vazões médias anuais (Qmed) praticamente iguais, mas houve diferença nas vazões máximas e mínimas a depender da bacia hidrográfica (Figura 9). Esses aspectos serão discutidos através das

simulações do cenário A2. No Rio Pojuça, a Qmax pelo método FM2 (59 m<sup>3</sup>/s) foi cerca de quatro vezes maior que aquela do método FM1 (15 m<sup>3</sup>/s). Na bacia do Rio Grande, a Qmax do método FM2 (771 m<sup>3</sup>/s) resultou 40% maior que a do método FM1 (554 m<sup>3</sup>/s), enquanto que a Qmin do método FM2 (85 m<sup>3</sup>/s) foi cerca de 10% menor que aquela do método FM1 (96 m<sup>3</sup>/s). Na bacia do Rio Paraguaçu, ambas Qmax e Qmin foram inferiores no método FM2. No caso da Qmax, o valor ficou muito baixo (160 m<sup>3</sup>/s) em virtude de ter ocorrido uma cheia de magnitude da ordem de 10.000 m<sup>3</sup>/s no cenário do *baseline*. A Qmax do cenário A2 (437 m<sup>3</sup>/s) resultou no percentual de menos de 5% para obter a alteração em relação à Qmax do cenário de referência (3.132 m<sup>3</sup>/s). Essa cheia de vazão muito alta ocorreu no mês de junho de 1989 e foi consequência de uma precipitação excessiva, gerada de forma distorcida pelo método FM2. Isso porque



**Figura 9**  
**Efeito das mudanças do clima nas vazões em função dos diferentes métodos de correção da precipitação:**  
 a) Rio Paraguaçu – b) Rio Pojuça – c) Rio Grande – Cenário A2 – 2070-2100

Fonte: Elaborado pelo autor.

nos meses do período seco os fatores de mudança podem ter valores bem maiores que naqueles do período chuvoso, a exemplo desse mês de junho, quando uma chuva de pequena magnitude, após a correção, acabou ficando muito elevada. Desta maneira, essa cheia distorcida e o período subsequente da série foram excluídos da análise.

Os valores médios das vazões características obtidas nas simulações hidrológicas a partir dos diferentes métodos de correção da precipitação são apresentados na Tabela 6. Os valores entre parênteses (percentuais) são relativos à proporção da vazão calculada para o cenário presente (ver Tabela)

<b>Tabela 6</b> <b>Valor médio das vazões – cenário A2 – 2070 a 2100</b> <small>[m<sup>3</sup>/s (%)]</small>			
<b>Bacia</b>	<b>Pojuca (Po)</b>	<b>Paraguaçu (Pa)</b>	<b>Grande (Gd)</b>
Qmed	2,3 (5,8)	26,1 (27)	165 (56)
Qmax	37 (5,6)	524 (16)	662 (69)
Qmin	0,2 (4,4)	0,5 (29)	91 (49)

Fonte: Elaborado pelo autor.  
Nota: (%) – relativos à vazão calculada para o cenário presente.

## CONCLUSÕES

O trabalho buscou detalhar os possíveis impactos projetados pelo modelo regional de clima HadRM3P para os cenários de emissões de gases de efeito estufa B2 e A2 para 2070 a 2100. Foram selecionadas três bacias hidrográficas de características climáticas e hidrológicas representativas das condições ambientais diferenciadas da Bahia.

O modelo climático regional HadRM3P simulou bem o cenário do clima presente no que se refere à distribuição espacial da média anual e do ciclo sazonal de precipitação e da temperatura do ar a 2 m sobre o estado da Bahia, sustentando de forma mais plausível o que sugerem as projeções climáticas futuras.

O modelo hidrológico MGB-IPH demonstrou boa capacidade de representação das vazões observadas nos rios Pojuca, Paraguaçu e Grande, considerando a variabilidade de tempo diário. A baixa qualidade dos dados de precipitação foi prejudicial para um melhor ajuste do modelo hidrológico em algumas sub-bacias estudadas.

Em relação aos efeitos das mudanças climáticas sobre a disponibilidade hídrica, a projeção de redução da vazão média anual foi de 94% no Rio Pojuca, 73% no Rio Paraguaçu e 44% no Rio Grande para o cenário A2 (2070 a 2100). As mudanças na precipitação são responsáveis por grande parte das alterações totais.

Os métodos de correção da precipitação, apesar da diferença de abordagem, apresentaram resultados semelhantes para a vazão média anual. Porém, o método que utiliza as características de intensidade e distribuição espacial e temporal dos cenários de clima do futuro indicou uma tendência para um regime mais extremo, com chuvas mais intensas e de maior variabilidade. No entanto, como os cenários simulados pelo modelo climático para o presente também mostraram chuva mais intensa que a observada, faz-se necessário desenvolver mais estudos sobre a adequação das metodologias de correção da precipitação.

Considerando o grau de redução das vazões projetado para o final do século XXI sob efeito das mudanças climáticas, recomenda-se desenvolver pesquisas que estimem as alterações para cenários mais perto do tempo atual, a exemplo de 2011 a 2040. Recomenda-se ainda a realização de estudos de vulnerabilidade e adaptação dos sistemas de abastecimento de água e de irrigação, assim como a revisão dos planos de recursos hídricos e do sistema de gestão de outorgas de direito de uso da água. Embora as simulações derivadas dos modelos do Met Office Hadley Centre sejam as mais utilizadas no país, seria interessante analisar as simulações do clima presente e projeções futuras produzidas por outros modelos globais.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pelo apoio ao projeto Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos na Bahia (processo 473871/2007-6). Ao CPTEC/INPE pela disponibilização dos dados do modelo climático e colaboração. Ao Inmet pela disponibilização dos dados de clima. À Agência Nacional das Águas (ANA) pela disponibilização dos dados hidrológicos. Ao professor Walter Collischonn, do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da UFRGS, pela disponibilização do modelo hidrológico MGB-IPH e colaboração. Ao Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (Inema) do Estado da Bahia.

## REFERÊNCIAS

- CENTRO DE DESENVOLVIMENTO E PLANEJAMENTO REGIONAL (MG); UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS; FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ. *Mudanças climáticas, migrações e saúde: cenários para o Nordeste brasileiro, 2000-2050*. Belo Horizonte: CEDEPLAR; UFMG; FIOCRUZ, 2008. 47 p.
- CHIEW, F. H. S. et al. Comparison of runoff modelled using rainfall from different downscaling methods for historical and future climates. *Journal of Hydrology*, n. 38, p. 10–23, 2010.
- COLLISCHONN, B.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. Daily hydrological modeling in the Amazon basin using TRMM rainfall estimates. *Journal of Hydrology*, p. 207, 2008.
- COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. Simulação hidrológica de grandes bacias. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, n. 6, p. 95-118, 2001.
- COLLISCHONN, W. et al. The MGB-IPH model for large-scale rainfall-runoff modelling. *Hydrological Sciences Journal*, n. 52, p. 878-895, 2007.
- DIAZ-NIETO, J.; WILBY, R. L. A comparison of statistical downscaling and climate change factor methods: impacts on low flows in the river Thames, United Kingdom. *Climatic Change*, n. 69, p. 245-268, 2005.
- FOWLER, H. J.; KILSBY, C. G.; STUNELL, J. Modelling the impacts of projected future climate change on water resources in north-west England. *Hydrology & Earth System Sciences*, v. 11, n. 3, p. 1115-1126, 2007.
- GARDNER, L. R. Assessing the effect of climate change on mean annual runoff. *Journal of Hydrology*, n. 379, p. 351–359, 2009.
- HANSEN, J. et al. Global surface temperature change, *Rev. Geophys.*, accepted. 2010.
- KILSBY, C. G. et al. Hydrological impacts of climate change on the Tejo and Guadiana Rivers. *Earth Syst. Sci.*, v. 11, n. 3. p. 1175-1189, 2007.
- LENDERINK, G.; BIUSHAND, A.; VAN DEURSEN, W. Estimates of future discharges of the river Rhine using two scenario methodologies: direct versus delta approach. *Earth Syst. Sci.*, v. 11, n. 3, p. 1145-1159, 2007.
- MARENGO, J. A. Mudanças climáticas globais e regionais: avaliação do clima atual do Brasil e projeções de cenários climáticos do futuro. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 16, n. 1, p. 1-18, 2001.
- \_\_\_\_\_. Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no semi-árido do Brasil. *Parcerias Estratégicas*, Brasília/DF, n. 27, p. 149-176, 2008.
- MARENGO, J. A. ; BETTS, R. Introdução. In: MARENGO, J. A. et al. *Riscos das mudanças climáticas no Brasil: análise conjunta Brasil-Reino Unido sobre os impactos das mudanças climáticas e do desmatamento na Amazônia*. [São Bernardo dos Campos]: INPE, 2011. p. 17-18.
- MARENGO, J. A. et al. *Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI*. Sumário Técnico. [Brasília]: Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Biodiversidade e Florestas, 2007. 54 p.
- MAURER, E. P.; ADAM, J. C.; WOOD, A. W. Climate model based consensus on the hydrologic impacts of climate change to the Rio Lempa basin of Central America. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, n. 13, p. 183–194, 2009.
- MILLY, P. C. D.; DUNNE K. A.; VECCHIA, A. V. Global pattern of trends in streamflow e water availability in a changing climate. *Nature*, v. 438, n. 17, Nov. 2005.
- MINVILLE, M.; BRISSETTE, F.; LECONTE, R. Uncertainty of the impact of climate change on the hydrology of a nordic watershed. *Journal of Hydrology*, n. 358, p. 70–83, 2008.
- PAZ, A. R.; COLLISCHONN, W. River reach length and slope estimates for large-scale hydrological models based on a relatively high-resolution digital elevation model. *Journal of Hydrology*, n. 343, p. 127-139, 2007.
- PROVIDING REGIONAL CLIMATES FOR IMPACTS STUDIES - PRECIS. The Hadley Centre Regional Climate Modelling system. Hadley Centre, Exeter, UK. 2002. 29 p.

- PURKEY, D. R. et al. Robust analysis of future climate change impacts on water for agriculture and other sectors: a case study in the Sacramento Valley. *Climatic Change*, n. 87 (Suppl 1), p. S109–S122, 2008.
- SCHAEFLI, B.; HINGRAY, B.; MUSY, A. Climate change and hydropower production in the Swiss Alps: quantification of potential impacts and related modeling uncertainties. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, v. 11, n. 3, p. 1191-1205, 2007.
- SOLOMON, S. et al (Ed.). *Climate change: the physical science basis*. New York: Cambridge University Press, 2007. 996 p. (IPCC 2007). Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- TANAJURA, C. A. S.; GENZ, F.; ARAÚJO, H. A. Mudanças climáticas e recursos hídricos na Bahia: validação da simulação do clima presente do HadRM3P e comparação com os cenários A2 e B2 para 2070-2100. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 25, n. 3, p. 345–358, 2010.
- THODSEN, H. The influence of climate change on stream flow in Danish rivers. *Journal of Hydrology*, n. 333, p. 226-238, 2007.
- UK MET OFFICE. *Climate change, rivers and rainfall*. Recent research on climate change science from the Hadley Centre. 2005.
- VANRHEENEN, N. T. et al. Potential implications of PCM climate change scenarios for Sacramento-San Joaquin River Basin hydrology and water resources. *Climatic Change*, v. 62, n. 1/3, p. 257-281, 2004.
- VAN ROOSMALEN, L. et al. An intercomparison of regional climate model data for hydrological impact studies in Denmark. *Journal of Hydrology*, v. 380, n. 3/4, p. 406-419, 2010.
- WOOD, A. W. et al. Hydrologic implications of dynamical and statistical approaches to downscaling climate model outputs. *Climatic Change*, n. 62, p. 189–216, 2004.

Artigo recebido em 02 de setembro de 2011  
e aprovado em 30 de setembro de 2011.



# A sustentabilidade hídrica de sistemas de abastecimento de água frente às mudanças climáticas

*Samara Fernanda da Silva\**

*Lafayette Luz\*\**

*Fernando Genz\*\*\**

\* Mestranda em Meio Ambiente, Águas e Saneamento e graduada em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). samara.nanda@gmail.com

\*\* Doutor em Engenharia Ambiental pela Cornell University, EUA; mestre em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS); graduado em Engenharia Civil pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Professor do Departamento de Engenharia Sanitária da Escola Politécnica da UFBA. luz.ufba@gmail.com

\*\*\* Doutor em Geologia pela Universidade Federal da Bahia (UFBA); mestre em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS); graduado em Engenharia Civil pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Pesquisador do CNPq/CT-Energ. fgenz@pq.cnpq.br

## Resumo

Dentre os impactos mais preocupantes decorrentes das mudanças climáticas previstos para o Nordeste brasileiro destacam-se as alterações das vazões fluviais e, consequentemente, da quantidade e da qualidade das águas. Tais alterações exigirão modificações no uso das águas, de modo a minimizar o desequilíbrio entre disponibilidade e demanda. A busca da sustentabilidade hídrica será determinante na redução dos impactos das mudanças climáticas. Assim, este artigo pretende discutir estes impactos sobre a disponibilidade hídrica e suas consequências e apresentar caminhos para minimizar estes impactos nos sistemas de abastecimento.

**Palavras-chave:** Mudanças climáticas. Recursos hídricos. Abastecimento de água. Gestão da demanda.

## Abstract

*Among the most worrying impacts of climate change anticipated for the Northeast of Brazil are changes in river flow and, as a consequence, in the quantity and quality of the water supply. These changes will require new attitudes toward the use of water, in order to minimize the imbalance between availability and demand. The search for water sustainability will be crucial in the reduction of climate change impacts. Thus, this article discusses such impacts on the availability of water as well as their consequences, and presents ways to minimize these impacts on water supply systems.*

**Keywords:** Water sustainability. Water supply system. Climate change.

## INTRODUÇÃO

Um dos impactos mais importantes sobre a sociedade no futuro em relação às mudanças climáticas serão as alterações na disponibilidade de água, pois isto implicará modificações nos aspectos do bem-estar, da produtividade agrícola e uso de energia, do abastecimento de água humano e industrial, dos ecossistemas aquáticos e do manejo da fauna (XU, 1999). Espera-se que tais mudanças alterem a frequência, a intensidade e a duração dos eventos extremos em muitas regiões (CHRISTENSEN *et al.*, 2007).

Os cenários projetados pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (Intergovernmental Panel for Climate Change (IPCC)), tanto os mais otimistas quanto os pessimistas, preveem diminuição na disponibilidade hídrica no Nordeste brasileiro, com aumento da duração do período de estiagem (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2007).

Estudos apontam, por exemplo, uma redução das vazões médias dos mananciais que abastecem a Região Metropolitana de Salvador (GENZ *et al.*, 2010). Isto alterará o quadro de alocação de água, bem como comprometerá o abastecimento de Salvador. O Plano Municipal de Saneamento Básico de Salvador, em fase de elaboração, continua sendo planejado desconsiderando o fenômeno das mudanças climáticas e apresenta somente a redução de perdas como alternativa de gestão da demanda (SALVADOR, 2010).

Assim, este artigo pretende discutir os impactos das mudanças climáticas na disponibilidade hídrica e suas consequências nos sistemas de abastecimento de água e apresentar caminhos a serem seguidos para minimizar tais impactos.

## METODOLOGIA

Uma vez que o presente trabalho pretende realizar uma abordagem sobre os impactos das mudanças

climáticas na disponibilidade hídrica, suas possíveis consequências e ações a ser executadas de modo a minimizar tais impactos, a sua metodologia consistiu em uma revisão crítica da literatura e uma análise das legislações de recursos hídricos e saneamento básico com foco no abastecimento de água.

## IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS SOBRE OS RECURSOS HÍDRICOS

Em relação aos recursos hídricos, uma das variáveis mais importantes são os cenários futuros de precipitação e, por conseguinte, de vazões dos rios. Entretanto, as alterações climáticas modificam não somente as vazões, mas também os condicionantes naturais que dão sustentabilidade ao meio natural, como a fauna e a flora (TUCCI, 2002).

Em geral, os profissionais que planejam os sistemas de recursos hídricos ignoram mudanças significativas na hidrologia dentro do horizonte de planejamento típico de 20 a 30 anos. Por outro lado, a integração das alterações climáticas no processo de decisão dos recursos hídricos é dificultada pela falta de quadros analíticos adequados para avaliar com rigor os impactos de uma série de cenários climáticos futuros (PURKEY *et al.*, 2007), bem como pela falta de acesso a todas as simulações do clima futuro e pela incapacidade de análise da faixa de incerteza representada em simulações climáticas (VONO *et al.*, 2010). Fisher e Rubio (1997 apud O'HARA; GEORGAKAKOS, 2008) ressaltam que o aumento da incerteza nas projeções leva, a longo prazo, a um maior nível de armazenamento dos reservatórios e, portanto, a maiores custos.

Whitehead e outros (2009) destacam como consequências da redução das vazões e das velocidades dos rios o aumento do tempo de residência da água e, portanto, a elevação do potencial de proliferação de algas tóxicas, a redução dos níveis de oxigênio dissolvido e o crescimento da taxa de sedimentação. Esse processo diminui a concentração de sedimentos na coluna de água, o que, por



sua vez, melhora a penetração de luz e favorece o crescimento das algas.

Segundo o Intergovernmental Panel on Climate Change (2008), temperaturas elevadas, combinadas com altas concentrações de fósforo em lagos e reservatórios, causam a proliferação de algas, o que prejudica a qualidade da água (cor, odor e sabor, toxicidade e transferência de poluentes voláteis e semivoláteis).

Vale ressaltar que concentrações elevadas de algas causam impactos significativos nos sistemas convencionais de tratamento de água (coagulação, floculação, sedimentação, filtração e desinfecção). Isto porque estes organismos podem flotar nos decantadores e ser carregados para os filtros, obstruindo-os em poucas horas. Isso causa odores na água tratada e traz sérios perigos à população abastecida, já que esses organismos liberam tóxicos perigosos (DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

Ainda de acordo com o Intergovernmental Panel on Climate Change (2008), as pequenas ilhas, as regiões áridas e semiáridas dos países em desenvolvimento, as regiões cujas águas doces são fornecidas pelos rios alimentados pela neve, os países com uma elevada proporção de planícies costeiras e megacidades costeiras, particularmente na região da Ásia-Pacífico, serão os locais onde o abastecimento de água doce estará mais vulnerável.

Avaliações dos impactos das mudanças do clima na disponibilidade hídrica dos rios Cle Elum River, em Washington, e Chattahoochee-Apalachicola, na Geórgia e na Flórida, foram realizadas por Gibson e outros (2005). Estes autores observaram alterações das vazões mínimas e máximas e verificaram que as mudanças no regime de fluxo são críticas para a sobrevivência dos peixes e outros organismos. Especificamente no caso do Rio Apalachicola as mudanças climáticas poderão resultar na desconexão da planície de inundação do canal, o que reduziria

drasticamente a disponibilidade de habitat para a desova dos peixes.

Barnett e outros (2004) realizaram simulações para avaliar os impactos das mudanças climáticas na bacia do Rio Colorado e observaram que, mesmo em meados do século, o sistema de reservatório do Rio Colorado não será capaz de atender a todas as demandas, incluindo o fornecimento de

água para o sul da Califórnia e interior do sudoeste e a geração hidrelétrica (redução em até 40%). Para a região do Vale Central da Califórnia, eles preveem a impossibilidade de cumprir os atuais níveis de desempenho do sistema de água.

Outros autores (O'HARA; GEORGAKAKOS, 2008; RUTH *et al.*, 2007; KIRSHEN; RUTH; ANDERSON, 2008) avaliaram os impactos das modificações hidroclimáticas em sistemas de abastecimento de água. Os primeiros analisaram tais impactos no semiárido do sul da Califórnia para o período de 2006-2030. Eles utilizaram os modelos CGCM2, HadCM3 e ECHAM4, com o cenário padrão de emissão de gases de efeito estufa de 1% de crescimento anual durante o futuro período de simulação. Para isto, fizeram simulações com o intuito de analisar a capacidade dos reservatórios em atender à demanda de água urbana futura sob cenários de mudanças climáticas e avaliaram os custos e benefícios econômicos da expansão de instalações de armazenamento de água existentes para se adaptarem às alterações climáticas futuras. Eles observaram custos elevados (centenas de milhões de dólares) para adaptações às alterações climáticas e ao crescimento da população, mesmo em um horizonte de tempo curto.

Por outro lado, Ruth e outros (2007) avaliaram os impactos das mudanças climáticas e das projeções da população de Hamilton, na Nova Zelândia. Realizaram simulações de 15 cenários, sendo cinco climáticos e três de população. Os autores observaram que as alterações na demanda de água

### **As reduções das vazões associadas ao aumento das temperaturas implicarão aumento das concentrações de sais dissolvidos**

são, em grande parte, ocasionadas por mudanças na população, não sendo significativamente afetadas por modificações no clima. Eles orientaram as autoridades para focarem o planejamento de atualizações do sistema de água sobre a demografia. Contudo, a falta de suscetibilidade da demanda de água à mudança climática não implicou a inexistência de impactos do clima, pois foi constatada uma probabilidade de 30% a 40% de escassez de água para o abastecimento em 2030.

As frequências de atendimento a três sistemas de abastecimento de água (Seattle, Tacoma e Everett) da região de Puget Sound, em Washington (EUA), foram analisadas por Vono e outros (2010). As demandas foram aumentadas e diminuídas em 10%, 25% e 50% em relação aos valores de demanda do ano 2000 e foi simulada a vazão para as décadas de 2020, 2040 e 2080, para os cenários de mudanças climáticas A1B e B1. Assim, para todos os cenários analisados, observaram-se falhas no atendimento às demandas do sistema de Tacoma. No sistema de Seattle, quando a demanda aumentou em 10%, a confiabilidade para 2080 caiu em 5% e 1%, para os cenários de emissões A1B e B1, respectivamente.

Ao avaliarem a demanda hídrica mundial (consumo humano, industrial e da agricultura), Vörösmarty e outros (2000) observaram que as mudanças iminentes em escala global da população e o desenvolvimento econômico irão ditar a relação futura entre a disponibilidade e a procura de água em um grau muito maior do que as mudanças climáticas.

Salati e outros (2007) elaboraram balanços hídricos para as regiões da Amazônia, da bacia do Rio Paraguai, do Nordeste brasileiro e da bacia do Rio Prata, nos quais foram utilizados cinco modelos (HadCM3, CSIRO-Mk2, CCCMA, GFDL-CM2 e CCSR/NIES) para cenários A2 e B2, para os períodos de 2011 a 2040 (centrado em 2025), 2041 a 2070 (centrado em 2050) e 2071 a 2100 (centrado em 2075). Quanto às conclusões para o Nordeste brasileiro, estes autores mencionaram que os resultados precisam ser analisados com muito cuidado,

pois os dados utilizados incluíram uma área superior ao Nordeste semiárido atual. Para tais autores, “excesso” representa a água que sofre percolação profunda ou escoamento superficial no mês considerado (mm/mês). Os resultados das previsões deste estudo para a segunda metade do século XXI estão apresentados no Quadro 1, sendo comparados com os dados do balanço hídrico do período de 1961 a 1990.

Região	Modelo HadCM3P	Médias dos valores dos cinco modelos
Amazônia	Para ambos os cenários (A2 e B2), uma diminuição do excesso de água de até 73,4%.	Para ambos os cenários (A2 e B2), uma redução do excesso de água na região de até 33%.
Bacia do Rio Paraguai	Para ambos os cenários (A2 e B2), uma diminuição do excesso de água na Bacia do Rio Paraguai no período de até 42%.	Para ambos os cenários (A2 e B2), uma diminuição do excesso de água na região de até 49%.
Nordeste brasileiro	Para ambos os cenários (A2 e B2), não haverá excesso de água na região.	Para ambos os cenários (A2 e B2), uma diminuição do excesso de água na região de até 100%.
Bacia do Prata	Para ambos os cenários (A2 e B2), não haverá excesso de água na região.	Para ambos os cenários (A2 e B2), uma diminuição do excesso de água na região para o período de 2011 a 2040 de até 70% e nenhum excesso de água para o período de 2041 a 2100.

**Quadro 1**  
Previsões climáticas para as regiões do Brasil, Cenário A2 IPCC, para a segunda metade do século XXI

Fonte: Salati e outros (2007).

Ao avaliar precipitações no estado da Bahia para os cenários A2 e B2 do IPCC, entre 2070 e 2100, utilizando o modelo global HadAM3P, Tanajura e outros (2010) observaram maior redução anual no litoral (cerca de 70%), tanto para o A2 como para o B2, enquanto no semiárido houve reduções entre 20% e 60% no cenário A2 e entre 20% e 50% no cenário B2.

Por outro lado, Genz e outros (2010) avaliaram os impactos nas precipitações e nas vazões do Rio Pojuca sob o cenário A2 do IPCC para o período de 2070 a 2100. Este rio localiza-se na Região de Planejamento e Gestão das Águas (RPGA) número XI – Recôncavo Norte. Para a avaliação, foram

utilizados os dados do modelo regional de clima HadRM3P como entrada do hidrológico MGB-IPH, sendo observadas reduções das vazões projetadas para o cenário A2 de 94%, superiores àquelas encontradas para a precipitação (79%). Estes autores sinalizam ainda, devido à semelhança entre os regimes hidrológicos, reduções severas também nas vazões de outros rios desta RPGA (rios Jacuípe e Joanes).

Na bacia do Rio Paraguaçu, foram avaliados os impactos nas precipitações e nas vazões para os cenários A2, para o período de 2070 a 2100 (GENZ; TANAJURA; ARAÚJO, 2011), por meio do uso do modelo regional de clima HadRM3P como entrada do hidrológico MGB-IPH. Estes autores observaram redução de 84%, 73% e 71%, respectivamente, nas vazões máxima, média e mínima.

Anteriormente, Medeiros (2003) realizou simulações no Rio Paraguaçu utilizando dois modelos climáticos (UKHI, do Serviço Meteorológico da Inglaterra, e CCCII, do Centro de Clima Canadense), para condições na atmosfera relativas a  $1xCO_2$  e  $2xCO_2$ . Foram avaliadas, para estes dois cenários de emissões, as respostas da bacia em relação ao escoamento superficial e à evapotranspiração. Assim, nas simulações do cenário UKHI, não foram identificadas alterações no total anual do escoamento superficial. Nas simulações do modelo CCCII, foi observada uma grande redução nesse total, de aproximadamente 40%. Em relação à evapotranspiração, no cenário UKHI, houve um decréscimo superior a 60%, na primavera, enquanto no cenário CCCII ocorreu uma redução variando, em geral, de 3% a 18%.

Nos casos dos rios localizados em regiões com altas taxas de evaporação, exemplo do sertão do Nordeste brasileiro e, portanto, do Rio Paraguaçu, as reduções das vazões associadas ao aumento das temperaturas implicarão aumento das concentrações de sais dissolvidos. Para remoção destes

sais, os sistemas convencionais de tratamento de água serão ineficientes. Além disso, soma-se a precariedade da disposição dos esgotos da maioria das cidades desta região. Permanecendo tal realidade, espera-se ainda um aumento das concentrações de coliformes termotolerantes e nutrientes nestas águas.

Entre outros trabalhos consultados pela pesquisa, destacam-se os relacionados à influência das alterações climáticas sobre o consumo de água (RUTH *et al.*, 2007), nos processos de desestabilização de margens de rios e descarga de sedimentos (BOYER *et al.*, 2010), nos aspectos da qualidade das águas (MOORE *et al.*, 2008; BONTE; ZWOLSMAN 2010; ARNELL, 1998; WHITEHEAD *et al.*, 2009) e nos processos de migração, modificações das características do uso e ocupação do solo e vegetação (BARBIERI *et al.*, 200-).

Mesmo diante dessas previsões de alterações nas vazões dos rios brasileiros, até o presente momento não foram identificados estudos dos impactos destas alterações nos sistemas de abastecimento de água no Brasil. Há, porém, estudos sobre os impactos na capacidade de produção de energia hidroelétrica advindos das mudanças climáticas (SCHAEFFER *et al.*, 2008; TIEZZI, 2009).

As reduções projetadas das vazões do Rio Paraguaçu e daqueles localizados na RPGA do Recôncavo Norte deverão causar impactos significativos nos respectivos balanços hídricos, intensificando os conflitos entre os usuários destas águas. Essa situação poderá, inclusive, comprometer o consumo humano, uma vez que nestes mananciais há inúmeros sistemas de abastecimento, dentre eles o da Região Metropolitana de Salvador.

Os impactos do clima exigirão modificações no gerenciamento das águas no futuro, sendo imprescindível sua inserção para avaliação de sistemas de recursos hídricos (WILEY; PALMER,

### **As reduções das vazões associadas ao aumento das temperaturas implicarão aumento das concentrações de sais dissolvidos**

2008). Ao se inserir as alterações hidroclimáticas no gerenciamento dos recursos hídricos, busca-se encontrar mais efetivamente o equilíbrio entre disponibilidade hídrica e demanda.

No entanto, o Plano Municipal de Saneamento Básico de Salvador, por exemplo, em fase de elaboração, cujo horizonte de planejamento é até 2030, continua sendo realizado desconsiderando o fenômeno das mudanças climáticas (SALVADOR, 2010). Means III e outros (2010) citam que as mudanças climáticas precisam ser inseridas nas tomadas de decisões dos prestadores dos serviços públicos de água, por apresentar potenciais impactos financeiros, sociais e ambientais.

### **MINIMIZAÇÃO DOS IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS E A SUSTENTABILIDADE NA GESTÃO DAS ÁGUAS**

Em geral, a gestão das águas no século XX foi baseada na ampliação da oferta, ou seja, na construção de grandes barragens para atender às demandas humanas. Embora importante na redução da incidência de doenças, na ampliação de fornecimento de energia hidrelétrica, na ampliação da agricultura irrigada e no controle das cheias, esse processo trouxe prejuízos sociais, econômicos e ecológicos (GLEICK, 2003).

Nesse sentido, nas últimas décadas, vem sendo discutida a inclusão dos princípios de sustentabilidade na gestão das águas. Para Meadowcroft (1997 apud CASHMAN, 2006), a sustentabilidade está associada com o bem-estar humano das presentes e futuras gerações, com as necessidades básicas, com a preservação dos recursos ambientais e com os sistemas globais de apoio à vida. Integra-se a economia e o meio ambiente na tomada de decisões, com participação popular nos processos de desenvolvimento.

Pahl-Wostl (2007) menciona que a gestão sustentável da água busca evitar consequências irreversíveis e mudanças catastróficas. Para isso, é necessário manter a capacidade adaptativa do sistema

de água, de forma a garantir a integridade funcional das condições de contorno externas e internas em longo prazo.

Para Mysiak e outros (2010), a gestão adaptativa das águas acrescenta explicitamente a incerteza, tendo como princípio a compreensão incompleta dos sistemas. Assim, surgem como hipóteses uma gama de possíveis respostas ao sistema, desde processos ambientais e comportamento humano a eventuais alterações climáticas. Para estes autores, a gestão adaptativa da água é uma extensão do conceito da gestão integrada. Eles citam dois elementos essenciais: envolvimento de vários atores diferentes e o processo de aprendizagem social. O primeiro é fundamental para que os diversos usuários entrem num consenso, enquanto o segundo refere-se ao arranjo de mudanças por meio de um processo de aprendizagem iterativo e contínuo, no qual novos elementos são inseridos e analisados (GLEICK, 2003; PAHL-WOSTL, 2007).

Brandes, Brooks e Gurman (2009) fazem uma abordagem a respeito da sustentabilidade da gestão das águas por meio de caminhos suaves, ou seja, o caminho a seguir pautado na utilização de menos água para satisfazer as mesmas necessidades. Para isso, devem ser inseridas medidas de conservação e eficiência do uso.

Esse conceito procura melhorar a eficiência do uso da água disponibilizando-a conforme as necessidades quali-quantitativas de cada usuário e incluir medidas de conservação, até mesmo mudanças nos hábitos de uso da água. Brooks e Holtzb (2009) mencionam que o caminho suave engloba tecnologias e políticas, de modo a reduzir a demanda, em vez de aumentar a oferta. Para Faria e outros (2010), o conceito de caminho suave

**As mudanças climáticas precisam ser inseridas nas tomadas de decisões dos prestadores dos serviços públicos de água, por apresentar potenciais impactos financeiros, sociais e ambientais**

atinge um nível potencialmente sustentável do uso da água, pois primeiro assegura o atendimento das necessidades do ecossistema e depois reduz os usos humanos, por meio de alterações de hábitos, tecnologias e práticas.

Brandes, Brookes e Gorman (2009) mencionam que a gestão da demanda deve ser a opção prioritária, pois proporciona menores custos, retorno rápido e menor impacto ambiental. Para Faria e outros (2010), o conceito da gestão da demanda de água aproxima-se do de tecnologias limpas, uma vez que ambos têm como prioridade a prática de conservação e reuso. Nessa prática, estão inclusas a otimização e a racionalização do uso, por meio da redução do consumo e da geração de efluentes e do aproveitamento das águas já utilizadas. Medidas como rapidez e agilidade em reparo de vazamentos constituem, na maioria dos casos, boas práticas operacionais, assim como substituição/adequação de equipamentos e mudança de procedimentos e de condições operacionais. Contudo, Brooks e Holtzb (2009) fazem uma importante ressalva à gestão da demanda: “A gestão da demanda exige mudanças mais profundas nos estilos de vida e subsistência, entretanto devem ser aplicados com grande cautela nas partes do mundo onde a equidade no acesso à água e tomada de decisão democrática não pode ser assegurada”.

Brooks e Holtzb (2009) mencionam que, enquanto a gestão da demanda faz a pergunta “como” (exemplo: “Como podemos obter mais de cada gota de água?”), a gestão baseada em caminho suave faz a pergunta “por que” (exemplo: “Por que devemos usar água para fazer isso?”). Assim, a gestão pelo caminho suave questiona a demanda, analisando qual a quantidade e a qualidade de água requerida para suprimento de determinado uso.

Rosegrant (1997 apud BROOKS, 1997) cita algumas ferramentas e técnicas utilizadas para promover a gestão da demanda e as classifica por

meio de quatro categorias: leis, medidas baseadas no mercado, medidas não baseadas no mercado (pressão social, serviços de informação e consulta) e intervenções diretas, tais como consertar vazamentos, ajustar pressão e reuso de esgoto.

Gleick (2010) define quatro estratégias-chave de um roteiro sustentável dos recursos hídricos: a) repensar os pressupostos e definições sobre o abastecimento de água; b) reduzir a demanda de água através de programas de conservação e eficiência; c) desenvolver melhores sistemas de gestão da água; d) integrar as alterações climáticas em todas as decisões do sistema de água. Vieira e Ribeiro (2005), Hambiraa, Moalafhi e Mulale (2011) e Gleick (2010) mencionam ferramentas necessárias para fazer essas mudanças, incluindo as novas tecnologias, as abordagens econômicas, os requisitos regulamentares e a educação. As medidas não estruturais traduzem-se em incentivos econômicos, leis, regulamentos e educação ambiental, de modo a mudar o comportamento dos usuários das águas.

A gestão da demanda pode ainda ser traduzida em medidas estruturais e não estruturais. No caso dos sistemas públicos de abastecimento de água, as medidas estruturais consistem no uso de alternativas tecnológicas de modo a promover a redução do consumo e a melhoria do controle e operação das redes de distribuição de água.

## **GESTÃO DA DEMANDA E OS SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA**

Em geral, o saneamento brasileiro ainda é fundamentado na gestão da oferta: expansão do atendimento por meio da exploração de mananciais cada vez mais distantes, elevados índices de perdas por vazamentos, pouca preocupação efetiva com o uso da água nos domicílios (desperdícios elevados) e com o reuso de esgoto. Contudo, há cada vez

menos opções viáveis, principalmente nas regiões metropolitanas, para a expansão da oferta hídrica.

Uma das ferramentas mais importantes para reduzir a pressão sobre os recursos hídricos, conforme discutido anteriormente, consiste em melhorar a eficiência na utilização da água existente (GLEICK, 2010), ou seja, operacionalizar a gestão da demanda.

As primeiras pesquisas no Brasil sobre a gestão da demanda foram voltadas à adoção de instalações sanitárias prediais de baixo custo (substituição de equipamentos) em projetos habitacionais para a população de baixa renda, culminando em uma produção em série de louças sanitárias de linha popular (SILVA, 2005). Este autor, entretanto, sinaliza que, para a eficácia dos programas de conservação e uso racional da água, faz-se necessário inibir o consumo dos usuários de renda média e alta do sistema público de abastecimento de água.

Matos (2007) atribui a complexidade da interferência desses usuários como causa da dificuldade para se conhecer a cota per capita e se identificar o padrão de consumo de água no Brasil. Segundo Gleick (1996), as condições climáticas e de higiene, cultura e estilo de vida, dieta alimentar, natureza e tamanho da cidade, disponibilidade de recursos, proximidade da água ao domicílio, forma de acesso, medição do consumo, pressão na rede, tecnologia e renda, dentre outros aspectos, são fatores determinantes no consumo de água nas residências.

Para Vairavamoorthy e Mansoor (2006), os instrumentos e ações de estímulo ao uso racional da água são distintos a depender do público alvo. Para os usuários de alta renda, são mais eficazes as ações como reuso intradomiciliar, pois o aumento do preço da água só é efetivo se combinado com extensivas campanhas de conscientização. Para os demais consumidores (média e baixa renda), as ações mais efetivas são a elevação do preço da água e a conscientização.

### **Os instrumentos e ações de estímulo ao uso racional da água são distintos a depender do público alvo**

Gleick (1996) recomenda o volume de 50 l.hab<sup>-1</sup>. dia<sup>-1</sup> para atendimento às necessidades básicas (higiene, bebida e limpeza). Contudo, o consumo nos domicílios não se limita somente às necessidades

básicas, devendo ser contemplado o volume necessário para atender a outros desejos dos usuários, como, por exemplo, um banho demorado para proporcionar re-

laxamento (CHEUNG *et al.*, 2009). Por outro lado, a demanda dos sistemas de abastecimento de água tem outros usuários, tais como comércio e indústria, que devem ser considerados.

Avaliando os fatores determinantes no consumo de água em áreas periurbanas de Salvador, Moraes (1995) verificou que o gasto mensal com água, o número de moradores e o tipo de ligação foram, entre as variáveis estudadas, aquelas que melhor explicaram o consumo de água desta população. O consumo per capita real estimado variou entre 33 l.hab<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup> e 87 l.hab<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup>, com valor médio global de 48 l.hab<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup>.

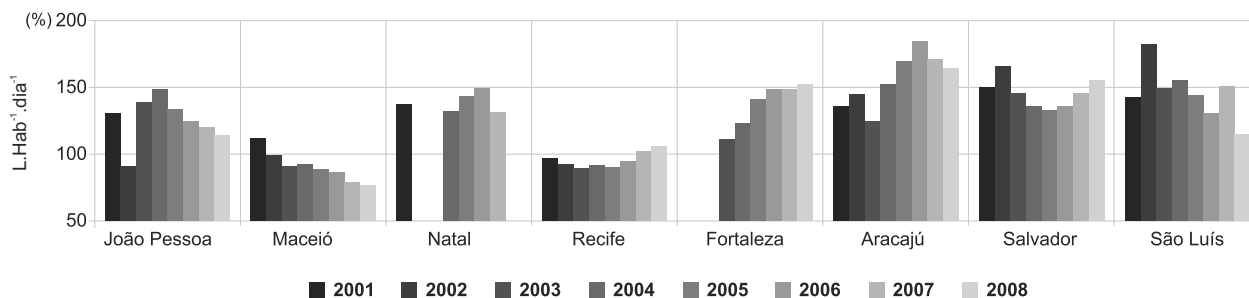
Com o intuito de verificar a opinião de moradores em área de baixa renda de Salvador sobre consumo e uso racional da água, Garcia e Kiperstok (2010) constataram que fechar torneiras durante o uso, redução da frequência do uso e do volume utilizado foram as ações citadas pelos entrevistados para o uso racional das águas, tendo como fatores motivadores a escassez e a economia na conta da água paga à concessionária.

Estudando o padrão de consumo, distribuição de renda e o meio ambiente no Brasil, Seroa da Motta (2002) observou que o consumo de água por domicílio tende a aumentar com o nível de renda. Por outro lado, Neri (2010), analisando os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, constatou que no Brasil, no período de 2003 a 2009, o número de pobres reduziu-se em 20,5 milhões de pessoas, e 29 milhões de pessoas ingressaram na nova classe média (Classe C). Dentre os bens de consumo pesquisados, a máquina de lavar roupas,

equipamento de significativo consumo de água dos domicílios, foi o que mais cresceu em vendas neste período (32,61%). O estudo demonstra que a tendência do Brasil é de continuação do crescimento da classe média. Assim, nos próximos anos, caso

operação do sistema (pressão). Sua duração depende da soma de três variáveis: conhecimento, localização e reparo (LAMBERT, 1998).

Thornton e outros (2008) afirmam que as causas para ocorrência desses vazamentos estão



**Figura 1**  
Histórico do consumo médio anual – Capitais do Nordeste

Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (2008).

o consumo de água continue tendo correlação significativa com a renda, espera-se que a demanda per capita real aumente.

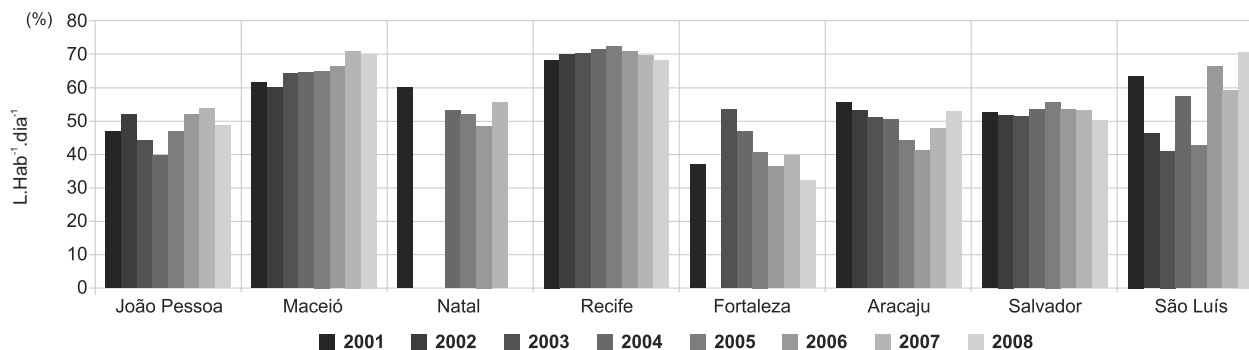
Na Figura 1, é apresentado o consumo médio per capita real do período de 2001 a 2008 de algumas capitais do Nordeste do Brasil (SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO, 2008). Dentre as cidades avaliadas, Aracaju apresentou valor per capita médio próximo a 150 l.hab<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup>, enquanto as cidades de Maceió e Recife apresentaram menores valores, 89 l.hab<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup> e 94 l.hab<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup>. Estes baixos valores estão atrelados à crise do sistema de abastecimento de água, o que ocasionou sérios racionamentos nestas cidades. Salvador apresentou consumo na ordem de 140 l.hab<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup>. Considerando a referência de Gleick (1996), a população de Salvador desperdiça e/ou utiliza para outras necessidades cerca de 90 l.hab<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup>, consumo muito superior ao estabelecido para suprimento das necessidades básicas.

Os vazamentos na rede de distribuição dos sistemas de abastecimento de água no Brasil são significativos. Eles são diretamente proporcionais às características do orifício e das condições de

na baixa qualidade da infraestrutura, da mão de obra e de materiais; na manipulação/estocagem inadequada de materiais; no processo inadequado de reaterro de valas; nas ondas de pressão ou transientes hidráulicos; na variação de pressão no sistema de distribuição, entre outros fatores. Estes autores definiram as seguintes ações para reduzir tais perdas: rapidez e qualidade dos reparos, controle e detecção de vazamento, controle de pressão e de nível de reservatório e melhoria dos materiais e da manutenção, remanejamento e reabilitação das tubulações.

Na Figura 2, são apresentados os percentuais de perdas na distribuição em sistemas de abastecimento de algumas capitais do Nordeste do Brasil (SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO, 2008). Em todas estas cidades, este indicador foi superior a 40%.

De acordo com o Ministério das Cidades (SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO, 2007), 60% das perdas reais e aparentes são recuperáveis, e elas representam um gasto de cerca de R\$ 4,4 bilhões por ano. Esse valor é bastante significativo quando comparado com a demanda anual de investimentos



**Figura 2**  
Histórico das perdas na rede de distribuição de sistemas de abastecimento de água – Capitais brasileiras

Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (2008).

em água e esgotos do Brasil para atingir a universalização em 2025, que é de aproximadamente R\$ 12,0 bilhões por ano.

Portanto, o controle das perdas é imprescindível para a redução da demanda, para o alcance da universalização do acesso aos serviços de abastecimento de água e poderá ser determinante na redução das pressões dos recursos hídricos e na minimização dos impactos da redução das vazões dos rios decorrentes das mudanças climáticas.

## INSTRUMENTOS LEGAIS E A GESTÃO DA DEMANDA

Outros fatores importantes para consumo e uso racional da água são os instrumentos legais. O Brasil instituiu, em janeiro de 1997, a Política Nacional de Recursos Hídricos – Lei n.º 9.433. Neste documento foram inseridos os princípios da sustentabilidade da gestão das águas, sendo considerado um instrumento legal moderno e avançado no que tange aos objetivos – a preocupação com as gerações futuras, a utilização racional e integrada – e aos fundamentos – descentralização das decisões e da participação da sociedade.

Essa lei apresenta outros fundamentos: água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico, e os usos prioritários, em situações de escassez, são o consumo humano e a dessedentação de animais. Nesta legislação, a água é

reconhecida como bem de domínio público, devendo sua gestão proporcionar e harmonizar usos múltiplos. A lei define a bacia hidrográfica como a unidade territorial para o planejamento.

Paralelamente, por meio da Resolução nº 54/05 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos, foram estabelecidas as modalidades, as diretrizes e os critérios gerais para a prática de reuso direto não potável de água. Esta resolução reafirma o compromisso da gestão dos recursos hídricos com a demanda, pois o reuso é compreendido como uma prática de racionalização e de conservação de recursos hídricos. Dessa forma, é possível utilizá-lo como um instrumento de busca do equilíbrio entre a disponibilidade e a demanda, para redução dos custos associados à poluição e proteção do meio ambiente e da saúde pública, na redução de descarga de poluentes e, conseqüentemente, na diminuição de custos associados ao tratamento de águas para abastecimento.

O estado da Bahia antecipou a promulgação da Lei 9.433/97 e aprovou a Lei nº 6.855 em 1995. Em 2009, o estado aprovou a nova Política Estadual de Recursos Hídricos e o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos (Lei nº 11.612/09). Esta lei fortalece a gestão participativa e, além daqueles princípios estabelecidos pela legislação nacional, acrescenta o direito de todos ao acesso à água, bem como de uso comum do povo, recurso natural indispensável à vida, à promoção social e ao desenvolvimento.



Embora as legislações nacional e estadual (Bahia) definam como diretrizes a gestão integrada dos recursos hídricos com as políticas públicas que tenham inter-relação com a gestão das águas – e, no caso da estadual, explicitamente com as mudanças climáticas –, bem como a indissociação dos aspectos de quantidade e qualidade, ambas não asseguram o atendimento das necessidades do ecossistema conforme conceito apresentado pela abordagem de caminhos suaves.

Por outro lado, a Lei Nacional do Saneamento Básico (Lei nº 11.445/07) definiu como diretrizes a instituição de tarifas, preços públicos e taxas para os serviços, visando à inibição do consumo supérfluo e do desperdício de recursos e o incentivo à eficiência. Entretanto, Garcia e Kiperstok (2010) observaram que o benefício da tarifa social (consumo inferior a 10 m<sup>3</sup>) pela prestadora dos serviços em Salvador não induziu ao uso racional da água, uma vez que havia domicílios que pagavam o mesmo valor que aqueles que consumiam volumes superiores a este limite, ou seja, a redução do volume consumido não refletiu no valor financeiro pago.

No decreto da lei do saneamento básico (Decreto 7.217/10 (Art. 6º), foi instituído que toda edificação permanente urbana deverá ser ligada à rede pública de abastecimento de água disponível em um prazo preferencialmente inferior a 90 dias ou o usuário estará sujeito às sanções. Essa determinação dificulta a inserção de fontes alternativas, tais como captação de água de chuva, reuso interno e fontes subterrâneas.

Uma barreira para gestão da demanda mencionada nesse decreto decorre da fronteira da responsabilidade dos prestadores dos serviços de água. Este limite termina nos eventuais instrumentos de medição, ou seja, reforça que o consumo efetivo e os desperdícios nos domicílios não são de responsabilidade dos prestadores dos serviços, como se estes consumos não estivessem inclusos

**Uma barreira para gestão da demanda mencionada nesse decreto decorre da fronteira da responsabilidade dos prestadores dos serviços de água**

nas demandas desses prestadores de serviços de água. Sanchez (2007), ao avaliar as perdas por vazamento intradomiciliar em edifícios multifamiliares, identificou que elas atingiam valores de até 55% do volume total consumido.

A lei de saneamento, ao definir que a prestação dos serviços públicos de saneamento básico deve obedecer ao princípio da continuidade, garantindo o fornecimento do abastecimento de água às populações de baixa renda em prazo e com critérios que preservem condições mínimas de manutenção da saúde das pessoas atingidas, demandará estudos para quantificação deste volume mínimo. Caso este seja definido corretamente, pode vir a ser um instrumento importante na gestão da demanda de água, pois seria um limite para diferenciação de preço da tarifa, de modo que esta seja crescente com o aumento do consumo.

Recentemente, por meio da Instrução Normativa nº 02/2011, o Ministério das Cidades estabeleceu como um dos requisitos para liberação de financiamentos para a ampliação do sistema de abastecimento de água, mutuários públicos, o percentual de perdas máximo (o maior entre valores percentuais das perdas na distribuição e faturamento). Neste documento, ficou definido que os prestadores de serviços somente receberão recursos para ampliação destes sistemas se este índice não superar 40%. Caso contrário, será necessário incluir no respectivo projeto o componente de controle de perdas ou ter sua execução acompanhada pelo desenvolvimento de programa de redução de perdas.

**NOVO CONTEXTO DO PLANEJAMENTO DOS SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA**

O planejamento de sistemas de abastecimento de água é complexo, uma vez que a demanda é função de variáveis ligadas às necessidades e

ao comportamento humano. Adiciona-se a esta complexidade a incerteza das alterações climáticas: emissões, concentrações de gases do efeito estufa, variabilidade natural do tempo e clima e modelagem (MARENGO *et al.*, 2011). Estes elementos exigirão novos métodos de planejamento dos sistemas de abastecimento de água (MEANS III *et al.*, 2010).

Este é um momento importante para discutir essas questões e buscar alternativas para contemplá-las no planejamento dos sistemas de abastecimento de água. Isso porque, de acordo com o Decreto nº 7.217/2010 que regulamenta a Lei nº 11.445/2007, a partir do exercício financeiro de 2014, o plano de saneamento básico será condição para o acesso a recursos da União ou daqueles financiamentos geridos ou administrados por órgão ou entidade da administração pública federal.

Means III e outros (2010) apresentam cinco métodos de planejamento para o abastecimento de água incorporando as alterações climáticas e incertezas adicionais: 1) análise de decisão clássica; 2) planejamento de cenários tradicionais; 3) tomada de decisão robusta; 4) opções reais; e 5) planejamento de portfólio. Este último, segundo tais autores, atualmente não é usado no planejamento de água. As principais características de tais métodos são:

- Análise de decisão clássica – Dá suporte aos tomadores de decisão com a catalogagem sistemática da informação e matematicamente, valorando e ordenando as alternativas, confrontando-as com objetivos potencialmente conflitantes. Descreve a incerteza com probabilidades. A análise conduz a estratégias ótimas, geralmente o menor custo. A grande limitação deste método consiste na determinação das distribuições de probabilidade relacionadas às mudanças climáticas.

**Este é um momento importante para discutir essas questões e buscar alternativas para contemplá-las no planejamento dos sistemas de abastecimento de água**

- Planejamento de cenários tradicionais – Elabora vários cenários futuros hipotéticos, sem atribuir qualquer probabilidade de sua ocorrência. Estes cenários extrapolam as tendências atuais e contemplam condições inesperadas, mas plausíveis.
  - Tomada de decisão robusta – Combinação dos dois métodos anteriores, entretanto elabora cenários quantitativos. Está concentrado em um pequeno grupo de profissionais, pois necessita de sofisticados esforços computacionais e capacidade analítica.
- Opções reais – Fundamenta-se na análise financeira de projetos/ações, em que a incerteza de uma estratégia é baseada na comparação com os custos, cujos riscos estão correlacionados com as estratégias. Os resultados são flexíveis, possibilitando que os projetos dos sistemas de abastecimento de água sejam retardados e separados em etapas/fases. Este método é complexo e relativamente desconhecido no setor da água.
- Planejamento de portfólio – Incorpora critérios financeiros de modo a permitir uma seleção de portfólio contendo uma combinação de recursos (monetizáveis) ou estratégias que minimizem a exposição financeira devido a futuros cenários de mercado. No caso do planejamento de sistemas de abastecimento de água, com a incorporação das incertezas dos modelos de clima, este portfólio seria, por exemplo: reservas hídricas superficiais e subterrâneas, programas de gestão da demanda, fontes/mananciais emergenciais, estruturas de preço (tarifária), mudanças operacionais e padrões de garantia. Neste modelo, a incerteza é tratada com probabilidades.

Mesmo sabendo das dificuldades, torna-se imprescindível inserir as incertezas das mudanças

climáticas no planejamento dos sistemas de abastecimento de água. Para isso, uma etapa importante consiste em avaliar a disponibilidade (em cenários de mudanças climáticas) e demandas (considerando possíveis medidas de adaptação) por meio de simulação de sistemas integrados dos recursos hídricos.

## CONCLUSÕES

As projeções climáticas sinalizam alterações na distribuição das chuvas e, portanto, na quantidade e na qualidade das águas dos corpos d'água, o que exigirá novos modelos de gestão dos recursos hídricos pautados na adaptabilidade, flexibilidade e sustentabilidade. As abordagens da gestão integrada adaptativa, caminhos suaves e gestão da demanda conduzem à efetivação da sustentabilidade hídrica e, por conseguinte, à eficiência econômica, à equidade social e à sustentabilidade ecológica.

Entretanto, os sistemas de abastecimento de água brasileiros, usuários prioritários, estão conduzindo suas ações ainda baseados na gestão da oferta. Exemplo disto são os elevados níveis de perdas nas redes de distribuição.

Mesmo sabendo da grande variedade de cenários climáticos previstos, das dificuldades metodológicas e dos custos e incertezas associados, a inserção das mudanças climáticas no planejamento dos sistemas de abastecimento de água é imprescindível para estabelecer ações mitigadoras e buscar a sustentabilidade hídrica. Entretanto, ao aumentar a incerteza e com a crescente demanda de diferentes setores e usuários de água, o planejamento se torna mais complexo (MYSIAK *et al.*, 2010).

Assim, a inserção das incertezas das mudanças climáticas nos sistemas de abastecimento permitirá que as decisões sejam tomadas com relação a medidas preventivas e/ou adaptativas no sentido de evitar racionamento, conflitos ou até mesmo falhas severas ao abastecimento humano.

## REFERÊNCIAS

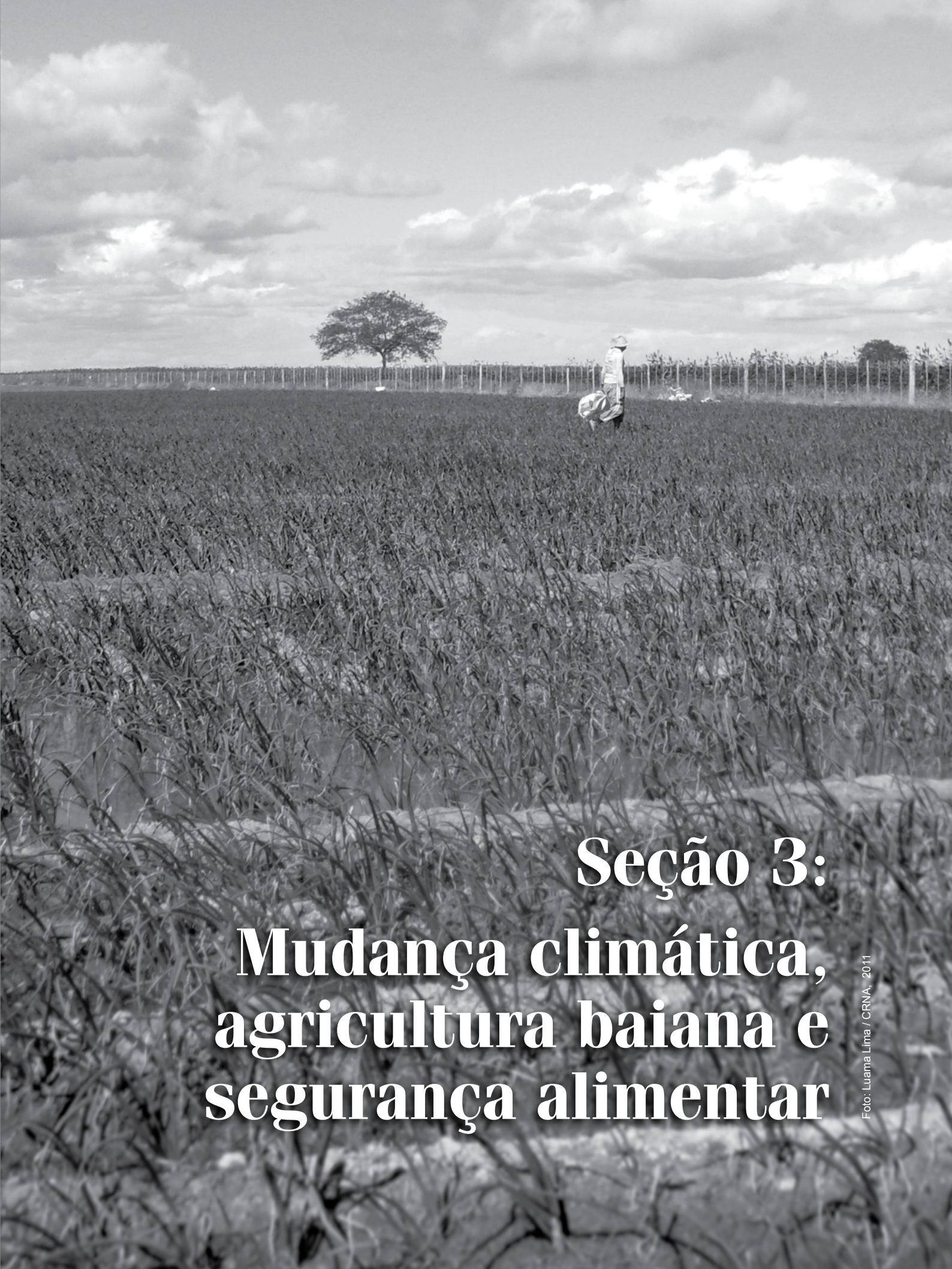
- ARNELL, Nigel W. Climate Change and Water Resources in Britain. *Climatic Change*, v. 39, p. 83–110, 1998.
- BAHIA. Secretaria de Desenvolvimento Urbano. *Estudos de aproveitamento dos mananciais da RMS – Revisão e Atualização das Proposições do Plano Diretor de Abastecimento de Água, Incluindo o rio Pojuca, e Visando o Uso Racional dos Recursos Hídricos Regionais - Estudo de Demandas*. Salvador: SDU, [200?]. 73 p. Relatório 1100.11-REL. EST. DEMANDAS-00.
- BARBIERI, Alisson Flávio et al. *Mudanças climáticas, migrações e saúde: cenários para o Nordeste brasileiro, 2000-2050*. [200?].
- BARNETT, Tim et al. The effects of climate change on water resources in the west: introduction and overview. *Climate Change*, v. 62, p. 1–11, 2004.
- BONTE, Matthijs; ZWOLSMAN, John J.G. Climate change induced salinisation of artificial lakes in the Netherlands and consequences for drinking water production. *Water Research*, v. 44, p. 4411-4424, 2010.
- BOYER, Claudine et al. Impacts of environmental changes on the hydrology and sedimentary processes at the confluence of St. Lawrence tributaries: potential effects on fluvial ecosystems. *Hydrobiologia*, v. 647, n. 1, p. 63–183, 2010.
- BRANDES, Oliver M.; BROOKS, David B.; GURMAN, Stephen. Why a water soft path, and why now. In: \_\_\_\_\_. *Making the most of the water we have: the soft path approach to water management*. Londres, 2009. Cap. 1, p. 3-22.
- BROOKS, David B. Water demand management: Conceptual framework and policy implementation. In: BROOKS, David B.; RACHED, E.; SAADE, M. *Management of water demand in Africa and the Middle East: current practices and future needs*. IDRC, 1997.
- BROOKS, David B.; HOLTZB, Susan. Water soft path analysis: from principles to practice. *Water International*, v. 34, n. 2, p. 158–169, 2009.
- CASHMAN, A. A watery form of sustainability. *Water and Environment Journal*, v. 20, p. 2–6, 2006.
- CHEUNG, Peter B. et al. Consumo de água. In: GONÇALVES, Ricardo Franci (Coord.). *Uso racional de água e energia: conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água*. Rio de Janeiro: ABES, 2009. Cap. 2, p. 36-98.
- CHRISTENSEN, J. H. et al. Regional climate projections. In: INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. *Climate change 2007: the Physical Science Basis*. Chapter 11. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S.; D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2007.

- DI BERNARDO, Luiz; DANTAS, Angela Di Bernardo. *Métodos e técnicas de tratamento de água*. Rio de Janeiro: Rima, 2005. v. 1/2. p. 9.
- FARIA, Alessandra da Silva et al. Aproximação dos conceitos de gestão de recursos hídricos e produção limpa, utilizando a abordagem gestão de demanda. In: CONGRESSO BAIANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 1., 2010, Salvador. *Trabalhos apresentados ...* Salvador: COBESA, 2010.
- GARCIA, Ana; KIPERSTOK, Asher. Fatores determinantes do consumo de água em residências de baixa renda: estudo de caso. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL, 32., 2010, Punta Cana. *Trabalhos apresentados...* Punta Cana: AIDIS, 2010.
- GENZ, Fernando. TANAJURA, Clemente Augusto Souza. ARAÚJO, Heráclio Alves de. Impacto das Mudanças Climáticas nas Vazões do Rio Pojuca sob o Cenário A2 do IPCC - 2070 a 2100. In: CONGRESSO BAIANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 1., 2010, Salvador. *Trabalhos apresentados...* Salvador, 2010.
- GENZ, Fernando; TANAJURA, Clemente Augusto Souza; ARAÚJO, Heráclio Alves de. *Impacto das mudanças climáticas nas vazões do Rio Pojuca, Paraguaçu e Grande – cenários de 2070 a 2100*. Salvador, 2011. No prelo.
- \_\_\_\_\_. *Impact of climate change on flows in rivers of different environments of Bahia, Brazil, a scenario for 2070 2100*. [201-]. A ser submetido.
- GIBSON, C. A. et al. Flow regime alterations under changing climate in two River Basins: implications for freshwater ecosystems. *River Research and Applications*, v. 21, p. 849–864, 2005.
- GLEICK, Peter H. Roadmap for sustainable water resources in southwestern North America. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, v. 107, n. 50, 2010.
- \_\_\_\_\_. Global freshwater resources: soft-path solutions for the 21st century. *Science*, v. 302, p. 524–528, 2003.
- \_\_\_\_\_. Basic Water requirements for human activities: meeting basic needs. *Water International*, v. 21, p. 83-92, 1996.
- HAMBIRAA, W. L.; MOALAFHI, D. B.; MULALE, K. *Water demand management in Botswana: reflections on the latest review of Botswana National Water Master Plan*.
- Gaborone, Botswana, [2011]. Disponível em: <<http://www.bscw.ihe.nl/pub/bscw.cgi/d2606897/Moalafhi-Hambira.pdf>>. Acesso em: jan. 2011.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Climate change. IPCC, 2007, 18 p. The Physical Science Basis Summary for Policymakers Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- \_\_\_\_\_. Climate change 2007: climate change and water. *IPCC Technical Paper VI*. 2008.
- KIRSHEN, Paul; RUTH, Matthias; ANDERSON, William. Interdependencies of urban climate change impacts and adaptation strategies: a case study of Metropolitan Boston USA. *Climatic Change*, v. 86, p. 105–122, 2008.
- LAMBERT, A.; MYERS, S.; TROW, S. Managing water leakage – Economic and Technical Issues. *Financial Times*, London, 1998.
- MATOS, Jennifer C. C. T. *Proposição de método para definição de cotas per capita mínimas de água para consumo humano*. Dissertação. 2007. (Mestrado) – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Brasília, 2007.
- MEANS III, Edward et al. *Decision support planning methods: incorporating climate change uncertainties into water planning*. United States, 2010. Water Utility Climate Alliance White Paper.
- MEDEIROS, Yvonilde Dantas Pinto. Análise dos impactos das mudanças climáticas em região Semi-árida. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 8, n. 2, p. 127–136, 2003.
- MOORE, Karen et al. Effects of warmer world scenarios on hydrologic inputs to Lake Mälaren, Sweden and implications for nutrient loads. *Hydrobiologia*, v. 599, p. 191–199, 2008.
- MORAES, Luiz Roberto Santos. Fatores determinantes de consumo per capita de água em assentamentos humanos em áreas peri-urbanas: estudo e caso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 1995, Salvador. *Trabalhos apresentados...* Salvador, 1995.
- MYSIAK, Jaroslav et al. *The Adaptive Water Resource Management Handbook*. Earthscan, London: UK, 2010.
- NERI, Marcelo Cortes. *A nova classe média: o lado brilhante dos pobres*. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Economia / Fundação Getulio Vargas, 2010.
- O'HARA, Jeffrey K.; GEORGAKAKOS, Konstantine P. Quantifying the urban water supply impacts of climate change. *Water Resour Manage*, v. 22, p. 1477–1497, 2008.
- PAHL-WOSTL, Claudia. *Requirements for adaptive water management*. Germany : Institute of Environmental Systems Research, University of Osnabrück, 2007.
- PURKEY, David R. et al. Integrating a climate change assessment tool into stakeholder-driven water management decision-making processes in California. *Water Resour Manage*, v. 21, p. 315–329, 2007.
- RUTH, Matthias et al. Adaptation of urban water supply infrastructure to impacts from climate and socioeconomic changes: the case of Hamilton. *Water Resour Manag*, New Zealand, v. 21, p. 1031–1045, 2007.
- SALALI, Eneas et al. *Mudanças climáticas globais e efeitos sobre a biodiversidade sub projeto: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI*. [Brasília]: MMA, 2007. Relatório 4 Tendências de Variações Climáticas para o Brasil no Século XX e Balanços Hídricos para Cenários Climáticos para o Século XXI.

- SALVADOR. Secretaria Municipal dos Transportes Urbanos e Infraestrutura. *Plano municipal de saneamento básico. 1ª etapa – diagnóstico da situação do saneamento básico de Salvador: serviços de água e esgotamento sanitário*. Salvador, 2010. 260 p.
- SANCHEZ, D. C. *Estudo para caracterização da demanda urbana de água no setor residencial da cidade de São Paulo*. 2007. 166 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.
- SCHAEFFER, R. et al. *Mudanças climáticas e segurança energética no Brasil*. Rio de Janeiro, 2008.
- SEROA DA MOTTA, Ronaldo. *Padrão de consumo, distribuição de renda e o meio ambiente no Brasil*. Rio de Janeiro: IPEA, 2002. (Texto para discussão, 856).
- SILVA, R. T. Pesquisa em saneamento: elementos para uma tecnologia socialmente inclusiva. *Parcerias Estratégicas*, Brasília, v. 20, n. 20, p. 387-420, 2005.
- SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO - SNIS. *Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto 2007*. Parte 1/ Visão Geral dos Prestadores dos Serviços. [Brasília]: Ministério das Cidades, 2007. p. 46 – 51.
- \_\_\_\_\_. *Aplicativo da Série Histórica do SNIS*. [Brasília]: Ministério das Cidades, 2008. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/PaginaCarrega.php?EWRErterterTERter=29>>. Acesso em: maio 2011.
- TANAJURA, Clemente Augusto Souza; ARAÚJO, Heráclio Alves de. Impact of climate change on flows in rivers of different environments of Bahia, Brazil, a scenario for 2070 2100. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 25, n. 3, p. 345 - 358, 2010.
- THORNTON, Julian; STURM, Reinhard; KUNKEL, George. *Water loss control*. 2nd. New York : McGraw-Hill, 2008. 632 p.
- TIEZZI, Rafael de Oliveira. *Impactos da variação pluviométrica associada às mudanças climáticas sobre a geração de energia hidrelétrica na Bacia do Alto Paranapanema*. 2009. Dissertação (Mestrado) - Programa Pós Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas(SP), 2009.
- TUCCI, C. E. M. *Impactos da variabilidade climática e uso do solo sobre os recursos hídricos*. [Brasília]: Agência Nacional das Águas, 2002.
- VAIRAVAMOORTHY, K.; MANSOOR, M. A. M. Demand management in developing countries. In: BUTLER, D.; ALI MEMON, F. (Ed.). *Water demand management*. London: IWA Publishing, 2006. cap.8.
- VIEIRA, Zédna M. C. L.; RIBEIRO, Márcia M. R. Análise de conflitos: apoio à decisão no gerenciamento da demanda urbana de água. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 134, n. 3, p. 239-246, 2005.
- VONO, Julie A. et al. Climate change impacts on water management in the Puget Sound region, Washington State, USA. *Climatic Change*, v. 102, p. 261–286, 2010.
- VÖRÖSMARTY, Charles J. et al. Global Water Resources: Vulnerability from Climate Change and Population Growth. *Science* 14, v. 289, p. 284-288. 2000.
- WHITEHEAD, P. G. A. et al. Review of the potential impacts of climate change on surface water quality. *Hydrological Sciences–Journal–des Sciences Hydrologiques*, v. 54 n. 1, Feb. 2009.
- WILEY, Matthew W.; PALMER, Richard N. Estimating the impacts and uncertainty of climate change on a municipal water supply system. *Journal of Water Resources Planning and Management*, p. 239-246, 2008.
- XU, Chong-Yu. Climate change and hydrologic models: a review of existing gaps and recent research developments. *Journal Water Resources Management*, v. 13, p. 369–382, 1999.

Artigo recebido em 02 de setembro de 2011  
e aprovado em 30 de setembro de 2011.





**Seção 3:**  
**Mudança climática,  
agricultura baiana e  
segurança alimentar**

Foto: Luama Lima / CRNA, 2011





# Economia das mudanças climáticas e a agricultura baiana

*Gustavo Inácio de Moraes\**

*Joaquim Bento de Souza Ferreira Filho\*\**

\* Doutor em Economia Aplicada e bacharel em Ciências Econômicas pela Universidade de São Paulo (USP); mestre em Desenvolvimento Econômico pela Universidade Federal do Paraná. [gustavo.moraes@puccrs.br](mailto:gustavo.moraes@puccrs.br)

\*\* Doutor em Economia, mestre em Ciências (Economia Aplicada) e graduado em Agronomia pela Universidade de São Paulo (USP). [jbsferre@esalq.usp.br](mailto:jbsferre@esalq.usp.br)

## Resumo

A perspectiva de ocorrência de mudanças climáticas tem especial impacto sobre a agricultura. Na medida em que os países em desenvolvimento ainda dependem em grande medida da agricultura, os prováveis impactos sociais, econômicos e ambientais assumem importância. O presente artigo apresenta resultados para a atividade econômica, mercado de trabalho e perfil de consumo das famílias para o estado da Bahia a partir de dois cenários de mudança climática. Através de um modelo de equilíbrio geral computável, estima-se que o produto interno bruto possa cair até 2,3% em um cenário mais severo, apenas considerados os efeitos na agricultura. Resultados para o mercado de trabalho e perfil de consumo também indicam a possibilidade de uma maior desigualdade de renda a partir dessas alterações climáticas.

**Palavras-chave:** Mudança climática. Bahia. Agricultura. Impactos econômicos a. Gestão da demanda.

## Abstract

*The probability of climate change has a special impact on the agricultural sector. Since many developing countries depend largely on agriculture, the potential social, environmental and economic impacts have great importance. This paper presents results for economic activity, labor market and household spending in the state of Bahia derived from two scenarios of climate change. Using a multi-regional computable general equilibrium model, it was estimated that the GDP may decrease by up to 2.3% in the worst-case scenario, taking into consideration only the effects on agriculture. Results for the labor market and household spending also indicate the possibility of a greater disparity in income as a result of these climactic changes.*

**Keywords:** Climate change. Bahia. Agriculture. Economic impacts.

## INTRODUÇÃO

A possibilidade de uma mudança climática abrupta e definitiva causada pela atividade econômica tem sido colocada como um desafio para a nossa geração. Os problemas que poderiam ser causados pela sua ocorrência são graves e, principalmente, afetam todas as regiões do mundo, não apenas fisicamente, mas também socialmente.

Os cenários traçados pelo Painel Intergovernamental para a Mudança Climática (IPCC) apontam para uma alteração na temperatura do planeta, bem como no padrão de chuvas, que em épocas passadas ocorreu apenas no espaço de alguns milênios, de modo que a adaptação necessária a um novo clima desta vez seria urgente. É verdade, porém, que agora os recursos tecnológicos disponíveis são maiores e melhores, o que aumenta as possibilidades de intervenções de adaptações.

Mas para que tais ações sejam, de fato, efetivas é necessário que se conheça a extensão dos impactos e como se manifestariam. Nesse particular, reconhecem-se efeitos da mudança climática sobre saúde, biodiversidade, mortalidade humana, perda de áreas litorâneas, desastres ocasionados por eventos extremos, deslocamentos de pessoas, os denominados “refugiados ambientais”, e sobre a agricultura. Esta última, por sua ligação direta com os ciclos naturais, seria certamente uma das atividades mais afetadas pela mudança do clima. Ressalte-se que o início da agricultura deu-se ao fim de um ciclo climático (a última era do gelo), há cerca de 12 mil anos. A agricultura é, ao mesmo tempo, a atividade cujos impactos da mudança climática estão, provavelmente, melhor estabelecidos, especialmente no Brasil.

Assim, estabelecer quais seriam os impactos econômicos dos diversos cenários de mudança climática a partir dos efeitos sobre a agricultura é algo desejável. Portanto, surge aqui o objetivo desse

artigo: quantificar os efeitos econômicos de cenários de mudança climática na agricultura na economia da Bahia. Como objetivos secundários o artigo pretende analisar os possíveis impactos sobre o consumo das famílias baianas e no mercado de trabalho do estado.

Para estas finalidades, o artigo inicia-se com uma discussão sobre os efeitos esperados em dois cenários que servirão de base para as

simulações. Na seção seguinte, a metodologia utilizada, um modelo de equilíbrio geral computável, é apresentada. A seguir, discutem-se os resultados e são apresentados números e tendências apuradas. Finalmente, considerações finais serão realizadas destacando potenciais e limitações dos resultados obtidos para o estado da Bahia.

## REVISÃO DE LITERATURA - A AGRICULTURA DA BAHIA SOB MUDANÇA CLIMÁTICA

Antes de se apresentarem as posições em destaque, faz-se necessário demarcar aquilo que ocorre de maneira natural na atmosfera. Entre os fenômenos da atmosfera destaca-se o efeito estufa, processo natural que domina o balanço de energia do planeta. Conforme Meirelles (1994, p. 4): “A atmosfera terrestre é constituída de gases que permitem a passagem da radiação solar, porém absorvem grande parte da radiação infravermelha termal, que é emitida pela superfície terrestre”. Expressiva parcela do efeito estufa natural origina-se a partir do vapor d’água, o dióxido de carbono e as nuvens, sendo de apenas 10% a contribuição natural de ozônio, óxido nitroso, metano e outros gases.

Portanto, o efeito estufa natural foi um processo decisivo para que a temperatura do planeta se estabilizasse em torno dos 14° C, permitindo que as espécies, tal como as conhecemos, se desenvolvessem. Seu primeiro componente localiza-se na emissão de raios a partir do Sol, absorvidos pelo

planeta. Tais raios são refletidos pela superfície dos oceanos e continentes, após estas dissiparem parte do calor. Porém, ao serem refletidos para o espaço, encontram uma barreira natural, aprisionando outra parcela de calor na atmosfera do planeta. Ao desequilibrar a composição da atmosfera entre vapor d'água, nuvens e outros gases em favor destes últimos, contudo, a ação humana tem sido apontada como a responsável pela intensificação do efeito estufa e consequente, alegado, aumento da temperatura planetária.

Na atividade solar, muito tem-se especulado, pois o estudo, embora antigo, somente recentemente conseguiu algum grau de pormenorização e interesse. Os padrões solares, se existentes, todavia, se caracterizam por ciclos longos que ainda escapam às percepções dos estudos existentes. De qualquer forma, é legítimo construir-se uma hipótese associando a atividade solar mais intensa com o aquecimento global, pois aquela é a fonte original de radiação térmica (FRIIS-CHRISTENSEN; LASSEN, 1991). Herrera (2008) prevê, inclusive, que a menor atividade solar provocará na próxima década uma era do gelo, que perdurará por seis a oito décadas, explicitando seu ceticismo com relação ao aquecimento global. Lean, Beer e Bradley (1995) estimam, em contrapartida, que a radiação solar tenha contribuído com a metade da elevação da temperatura desde 1860 até 1990, enquanto no período entre 1970 e 1990 esta influência teria declinado para apenas um terço. Ainda que esses fatores naturais sejam importantes, a influência humana para a modificação do balanço de gases da atmosfera também deve ser vivamente destacada. A partir da Revolução Industrial, na segunda metade do século XVIII, tem-se o período em que a emissão de gases por atividades humanas acelerou-se. Esse processo cria a hipótese de uma modificação no balanço de gases da atmosfera.

**A absorção do gás carbônico nos oceanos e superfície dos continentes tornou-se menos eficiente, em ligação direta com as emissões de origem antrópicas**

De acordo com o Intergovernmental Panel for Climate Change (2007a), as concentrações de dióxido de carbono cresceram significativamente desde 1750, meados do início do processo de industrialização. A opção por fontes energéticas fósseis está intimamente ligada às altas concentrações do dióxido de carbono na atmosfera, embora alterações no uso da terra tenham importância no processo. Naquilo que se relaciona às atividades da agropecuária, sua contribuição para acelerar o efeito estufa encontra-se na alteração dos fluxos naturais de nitrato, fosfato e carbono, com liberação principalmente do gás carbônico e metano (MEIRELLES, 1994). As emissões dos gases de efeito estufa, de um modo geral, cresceram 70% no período entre 1970 e 2004 (INTERGOVERNAMENTAL PANEL FOR CLIMATE CHANGE, 2007c).

As percepções de crescimento no valor absoluto e no ritmo de emissões de gás carbônico também são verificadas em Canadell e outros (2007). As emissões teriam origem na mudança do uso da terra e, predominantemente, no uso de combustíveis fósseis. Mais importante, também se percebe que a absorção do gás carbônico nos oceanos e superfície dos continentes tornou-se menos eficiente, em ligação direta com as emissões de origem antrópicas.

Os cenários elaborados pelo IPCC estão intimamente ligados ao sucesso das políticas relativas à trajetória de restrições de emissões de gases estufa. A adoção dos protocolos de restrição de emissões por uma ampla gama de países e a transição na matriz energética de combustíveis fósseis para combustíveis renováveis seriam os fatores-chave para uma ação bem-sucedida. Stern (2006) consolida a percepção de uma série de estudos que avaliam as probabilidades de aumento na temperatura média planetária em função da concentração de gases na atmosfera. Para concentrações de 750 ppvm de CO<sub>2</sub>, um aumento na

média da temperatura global planetária de 2° C é certo, um aumento de 4° C tem probabilidade de 82% e uma elevação superior a 5° C apresenta chance de 47%. Em comparação, se a concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera situar-se em 500 ppm, a chance de aumento em 2° C é de 96%, ao passo que a possibilidade de elevação acima de 4° C situar-se-ia em meros 11%. Demonstra-se assim a importância da estabilização das emissões em níveis próximos aos atuais, caso se deseje abrandar os efeitos da mudança climática. Mas mesmo aumentos mínimos de temperatura são relevantes para avaliação e mitigação de efeitos.

As mudanças nos sistemas de vegetação e na cadeia alimentar são mapeadas em Intergovernamental Panel for Climate Change (2007b). O aumento da temperatura média do planeta entre 1,5° C e 2,5° C seria suficiente para colocar em risco de extinção 20% a 30% das espécies terrestres e/ou aquáticas do planeta. O relatório também concorda que as áreas atualmente ocupadas pela Amazônia poderiam transformar-se em savanas, com impacto direto na biodiversidade do planeta. Associada à ocorrência mais frequente de secas, a América Latina como um todo poderia observar a salinização e desertificação de solos hoje dedicados à agricultura, exceto para as áreas temperadas, onde, regra geral, as atividades agropecuárias seriam beneficiadas. As soluções para o enfretamento da mudança climática pela agricultura passariam por pesquisa mais avançada, assistência financeira para a implementação de novas técnicas, bem como um incentivo extra à agricultura orgânica e sustentável, com potenciais benefícios, para além do efeito social redistributivo, sobre o meio ambiente (KHOR, 2008). Incentivos para um uso mais racional do solo e de insumos que tenham poucos impactos ambientais também são estratégias ao alcance dos formuladores de política, bem como

**Incentivos para um uso mais racional do solo e de insumos que tenham poucos impactos ambientais também são estratégias ao alcance dos formuladores de política**

o aperfeiçoamento do calendário de cultivo (ROSENZWEIG; TUBIELLO, 2006).

Naquilo que diz respeito à agricultura, a Embrapa destaca-se na elaboração de pesquisas que mapeiam os efeitos potenciais dos eventos associados à mudança climática. Experimentos realizados para as culturas de arroz, milho, café, feijão, soja, algodão e cana-de-açúcar demonstram que, sob mudanças climáticas amenas, o território brasileiro conviveria com pequenas alterações no zoneamento agrícola<sup>1</sup>, ao passo que sob cenários mais severos, mudanças consideráveis no zoneamento agrícola se dariam. Esses resultados são apresentados por Assad, Pinto e Zullo Junior (2007a, 2007b) e Pinto e Assad (2008).

Para o caso da cana-de-açúcar apontam-se como prováveis áreas de expansão aquelas localizadas no Centro-Oeste brasileiro (cerrado) e a região do Pantanal<sup>2</sup>, no estado do Mato Grosso do Sul. Acrescente-se que o recente *boom* de projetos de usinas do setor vivenciado no Brasil contribui de modo inequívoco para a descoberta de novas potencialidades. Para as regiões tradicionalmente líderes na produção, o estado de São Paulo e estados do Nordeste, a elevação das temperaturas traria, principalmente, um aumento para a primeira, em um cenário brando, e redução da produtividade por hectare em um cenário mais severo, ao passo que o Nordeste perceberia efeitos negativos em ambos os contextos. Deve-se lembrar que a cana-de-açúcar seria a cultura que provavelmente teria os maiores ganhos sob climas mais quentes e secos e, portanto, obteria vantagens do processo de mudança climática sob alterações brandas (ASSAD; PINTO; ZULLO JUNIOR, 2007a).

<sup>1</sup> Considera-se uma área apta a determinada cultura se as chances de sucesso são de 65%. Em outros termos, viável a ser coberta por seguro agrícola.

<sup>2</sup> Um bioma rico em biodiversidade e alvo de importantes restrições ambientais.

Os trabalhos que contemplam a especificidade do território brasileiro e contribuem para a confecção dos cenários particulares são os de Sanghi e outros (1997), Assad e outros (2007a), Assad e outros (2007b), Krug (2004), Marengo (2005), Marengo (2007), Salati (2005), Pinto e Assad (2008) e Lobell e outros (2008). Destes, o mais importante é o trabalho de Pinto e Assad (2008), pois fornece os mapas detalhados do comportamento das áreas aptas para a produção nos diferentes cenários. Com base nestes trabalhos é possível desenhar o futuro da agropecuária brasileira sob efeito da mudança climática.

Com base nessas pesquisas de campo, as regiões que seriam afetadas no estado da Bahia podem ser localizadas. O Quadro 1 localiza as microrregiões do estado que seriam afetadas para as culturas de algodão, arroz, café e feijão. A aptidão das regiões tem como base a efetividade do seguro real ou, em outras palavras, a chance da lavoura obter 80% de sucesso.

Foram escolhidos os cenários 2020/A2 e 2070/B2 para a simulação dos impactos econômicos. Ambos os cenários estão fundamentados em concentração de gases de efeito estufa segundo pressupostos distintos, sendo o ano apenas uma referência, uma vez que a concentração de gases de efeito estufa pode ocorrer antes ou depois da data referência. Os cenários A do IPCC referem-se a trajetórias sem adoção de desenvolvimento sustentável para a maior parte das economias mundiais. Já os cenários B do IPCC presumem o desenvolvimento sustentável na maior parte das economias mundiais, mas por estarmos em um prazo mais dilatado, ainda assim a concentração de gases seria superior. Ou seja, pensa-se em um cenário pessimista para 2020 e outro otimista para 2070. Ainda o Quadro 1, adotando-se os mesmos pré-requisitos, expõe o impacto sobre microrregiões do estado da Bahia para os produtos mandioca, milho, soja e cana-de-açúcar. Como anteriormente exposto, a cana-de-açúcar pode-se beneficiar por cenários brandos de mudança climática e prejudicar-se em cenários agudos. Ressalte-se

que esse comportamento, todavia, não é válido para os estados nordestinos.

Produto/cenário	2020/A2	2070/B2
Algodão	Sem efeitos	Sem efeitos
Arroz	Juazeiro	Juazeiro
	Paulo Afonso	Paulo Afonso
	Barra	Barra
	Bom Jesus da Lapa	Bom Jesus da Lapa
	Boquira	Boquira
	Seabra	Seabra
	Livramento do Brumado	Livramento do Brumado
Café	Guanambi	Guanambi
	Brumado	Brumado
	Porto Seguro	Porto Seguro
	Vitória da Conquista	Vitória da Conquista
Feijão	Itapetinga	Itapetinga
	Juazeiro	Cotegipe
	Paulo Afonso	Santa Maria da Vitória
	Barra	Juazeiro
	Bom Jesus da Lapa	Paulo Afonso
	Euclides da Cunha	Barra
	Seabra	Bom Jesus da Lapa
Guanambi	Itaberaba	
Milho	Euclides da Cunha	Euclides da Cunha
	Juazeiro	Juazeiro
	Paulo Afonso	Paulo Afonso
	Barra	Barra
	Bom Jesus da Lapa	Bom Jesus da Lapa
	Senhor do Bonfim	Senhor do Bonfim
	Irecê	Irecê
	Jacobina	Jacobina
	Itaberaba	Itaberaba
	Feira de Santana	Feira de Santana
	Jequié	Jeremoabo
	Livramento do Brumado	Euclides da Cunha
	Guanambi	Ribeira do Pombal
	Vitória da Conquista	Serrinha
Itapetinga	Alagoinhas	
Porto Seguro	Entre Rios	
Mandioca	Boquira	Boquira
	Seabra	Seabra
	Jequié	Jequié
	Livramento do Brumado	Livramento do Brumado
Soja	Guanambi	Guanambi
	Vitória da Conquista	Vitória da Conquista
	Itapetinga	Itapetinga
Cana-de-Açúcar	Porto Seguro	Porto Seguro
	Juazeiro	Juazeiro
Mandioca	Paulo Afonso	Paulo Afonso
	Guanambi	Guanambi
	Vitória da Conquista	Vitória da Conquista
Soja	Vale São Franciscano da Bahia	Vale São Franciscano da Bahia
Cana-de-Açúcar	Impacto negativo em todas, mas sem perda de áreas aptas.	Impacto negativo superior em todas, mas sem perda de áreas aptas.

**Quadro 1**  
Microrregiões consideradas como inaptas sob os diferentes cenários

Fonte: Dados da pesquisa, com base em Pinto e Assad (2008).

A localização dessas microrregiões e de seus efeitos será útil, pois, como será ilustrado adiante, o valor de produção nessas áreas será eliminado da produção para que se possam obter os efeitos e tendências econômicas observáveis.

## METODOLOGIA

A utilização dos modelos de equilíbrio geral computável, ou EGC, difundiu-se para uma série de problemas, desde análise de efeitos de políticas tributárias, políticas comerciais até políticas sociais. Os EGC são largamente empregados para avaliar consequências em análises de políticas e choques de naturezas diversas. Como Wingle (2001, p. 5) afirma, o experimento típico em equilíbrio geral computável é perguntar-se: “Qual o impacto de uma determinada política ou evento?” Nesse sentido, políticas de contenção da emissão de gases, derivadas ou não de acordos internacionais, políticas de impostos sobre emissões e avaliações dos efeitos do aquecimento global na ausência de contra medidas são alguns exemplos de choques e simulações propostas utilizando a metodologia.

Em geral, o modelo é construído sobre pressupostos neoclássicos adaptáveis em maior ou menor medida conforme o caso em estudo. Estabelecendo o comportamento dos agentes<sup>3</sup>, considerando uma estrutura de relações observada e aplicando-se o choque proposto, o equilíbrio surge na medida em que o sistema possui restrições (técnicas e institucionais) que são obedecidas pelo comportamento agregado. Os modelos EGC calculam, com base numa situação inicial e após um choque, o vetor de preços que aloca eficientemente os recursos da economia, garantindo equilíbrio em todos os mercados da economia, através do sistema de equações que descrevem o comportamento dos agentes no sistema econômico. Finalmente, ainda é possível

variar o horizonte temporal com que se trabalha nesses modelos, curto e/ou longo prazo, adotando os pressupostos teóricos correspondentes. Outro desenvolvimento também possível é construir modelos dinâmicos, que permitem perceber como se dá a trajetória das variáveis entre o início e o fim do período de ajuste, podendo ser de características recursivas<sup>4</sup> ou não (FERREIRA FILHO, 2006).

Na sua construção, os modelos EGC consideram a relação entre todos os agentes significativos da economia: famílias, produtos, indústrias, importadores, exportadores, setor público etc, via estrutura da matriz insumo-produto. Acrescente-se que medidas de bem-estar podem ser tomadas a partir da configuração de variação de preços. O fato de os modelos EGC serem capazes de captar o comportamento e a interação dos agentes relevantes na economia faz com que sejam indicados para a análise de impactos econômicos da mudança climática. Ao mesmo tempo, seria necessário considerar os resultados pesquisados em áreas como ecologia e meteorologia para incorporá-los ao sistema econômico (KURTZE; SPRINGER, 1999).

- Hertel (1999) destaca e mapeia a utilização dos modelos EGC para problemas de políticas na agricultura, enfatizando o potencial que a metodologia apresenta para esta temática. Oportunamente, além de realizar um apanhado de revisão da literatura de trabalhos que se utiliza de modelos EGC com aplicações na agricultura, relaciona aqueles que seriam os elementos desejáveis a estarem presentes na confecção de experimentos:
  1. considerar aspectos institucionais e comportamentais, sempre que possível;
  2. deixar claro as incertezas associadas aos valores dos parâmetros, enfatizando as tendências;
  3. resultados novos exaustivamente explicados e decompostos;

<sup>3</sup> A partir de um agente econômico típico, conforme a esfera econômica que se avalie (consumo, produção, administração pública etc.).

<sup>4</sup> O resultado de um período operando como os valores iniciais do período subsequente.

4. política-chave modelada explicitamente;
5. parâmetros comportamentais, sempre que possível relacionados a trabalhos anteriores na literatura; e, finalmente,
6. apresentar resultados que possam ser facilmente replicados.

Para o Brasil, um trabalho que se vale do mesmo modelo que será usado no presente artigo é o de Domingues, Magalhães e Ruiz (2008). Para esse estudo, consideram-se apenas os cenários de mudança climática no Nordeste, e o cenário base é obtido dos estudos produzidos por Pinto e Assad (2008). Outro trabalho com objetivo centrado no Brasil que encontra resultados próximos aos registrados na literatura internacional, a partir de uma metodologia EGC, é o de Moraes (2007), mas, mesmo neste caso, algumas limitações existem.

Os modelos computáveis de equilíbrio geral foram desenvolvidos dentro de duas tradições distintas, uma delas trabalhando com as variáveis em nível, outra a partir de variações percentuais, oriundas de equações não lineares existentes em sua estrutura. O modelo TERM-BR a ser utilizado na presente tese segue a tradição norueguesa/australiana de construção de modelos CGE a partir de equações não lineares, representadas, todavia, por soluções linearizadas.

Embora contenha uma estrutura que leva em conta a divisão federativa do Brasil em 26 estados e um Distrito Federal, além de vários setores econômicos, o que é suficiente para a necessidade de uma capacidade de processamento considerável, o modelo TERM-BR apresenta algumas simplificações, naturais em modelos econômicos, tais como o CGE. Essas hipóteses simplificadoras implicam que o consumidor (ou produtor) de uma determinada região possua comportamento idêntico aos seus pares da mesma região. Isto, em outras palavras, significa dizer que todos os agentes obedecerão a um comportamento padrão estabelecido por um agente representativo na aquisição de produtos e origem dos produtos em cada uma das regiões particulares.

Os produtos primários terra, capital e trabalho substituem-se na produção através de uma função de elasticidade de substituição constante, ou CES. O valor desta elasticidade é informado ao modelo em uma dimensão indústria, ou seja, para cada uma das indústrias é possível estabelecer um valor particular deste parâmetro. De idêntico modo é uma relação de elasticidade constante que determina a composição de uma matéria-prima em sua origem, doméstica ou importada. Mais uma vez, os valores associados a este último parâmetro podem ser estabelecidos para cada indústria em particular.

Uma interessante aplicação do modelo TERM é encontrada em Horridge, Madden e Wittwer (2005) para estudar os efeitos da ocorrência de uma seca sobre a economia australiana. Aplicações do modelo no Brasil podem ser encontradas em Santos (2005) e Fachinello (2008), sendo que o primeiro estuda impactos de cenários de tributação sobre o consumo da população brasileira, ao passo que o segundo autor simula cenários para ocorrência de gripe aviária nos plantéis brasileiros. Outro trabalho que se utiliza do mesmo modelo é o de Ferreira Filho e Horridge (2006), que avaliam impactos sobre a pobreza e a desigualdade regional brasileira da adoção do acordo de livre comércio das américas, sendo esta aplicação interessante, dada a grande heterogeneidade da distribuição da riqueza nacional. Domingues, Viana e Oliveira (2007) também se utilizam do modelo para avaliação de políticas na Região Nordeste.

A matriz de insumo-produto a ser utilizada neste artigo corresponde à do ano de 2005, divulgada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2008). Tal matriz é composta por 110 produtos, 55 indústrias e sete usuários finais. Outra consideração importante na calibração do modelo são as informações sobre o perfil de consumo em cada um dos estados brasileiros. Essa informação reveste-se de grande importância pela necessidade de definição da demanda das famílias, determinante do perfil de consumo e preferências. A Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF) recolhe tais

informações periodicamente, com intervalo de anos e/ou décadas, para traçar tal perfil e subsidiar a construção de índices de inflação, dentre outras conveniências. Para esta tese, utilizou-se a pesquisa referente ao período 2002/2003, contida em Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2004), último período pesquisado cuja cobertura geográfica abrange uma amostra de todas as unidades federativas. Ressalte-se que para o modelo importa, sobretudo, a participação dos estados no consumo de cada um dos 110 produtos.

Outra fonte de informação para os dados do modelo e consequente calibração proveio da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD), ano de referência 2005. Nesta foi possível obter a alocação da mão de obra entre os diversos setores da matriz insumo-produto e, em paralelo, determinar a distribuição entre unidades federativas e as classes de ocupações. Estas últimas são divididas em dez estratos, originados dos intervalos de rendimentos percebidos, determinando automaticamente o grau de qualificação da mão de obra. Assim, como ilustração, uma atividade que emprega mais trabalhador, proporcionalmente, do que outra, no décimo estrato, se utiliza de uma mão de obra mais qualificada. O mesmo perfil da mão de obra pode ser percebido dentro de uma mesma atividade em relação a diferentes unidades federativas.

Observe que o deslocamento de trabalhadores de uma atividade para outra, ou ainda de uma unidade federativa para outra levará em conta as elasticidades associadas ao comportamento dos fatores primários e, também, este perfil de qualificação do emprego notado em 2005. Finalmente, outro problema colocado para a base de dados é a determinação das participações estaduais – 26 estados e Distrito Federal – na matriz nacional de fluxos. Essencialmente, a participação estadual dos 110 produtos, pelo valor produzido, pode ser obtida em três pesquisas nacionais publicadas pelo IBGE (PESQUISA AGRÍCOLA MUNICIPAL, 2006; PESQUISA INDUSTRIAL ANUAL, 2006; PESQUISA ANUAL DE SERVIÇO, 2006). Aquela que diz

respeito à agricultura será baseada na Pesquisa Agrícola Municipal (PAM) de 2005. Para a indústria, as participações são obtidas na Pesquisa Industrial Anual (PIA), enquanto as participações de serviços e comércio são alcançadas na Pesquisa Anual de Serviços (PAS). A Tabela 1 destaca a participação obtida para o estado da Bahia no total nacional das atividades em 2005, ano base da matriz insumo-produto.

**Tabela 1**  
**Participação da Bahia no total nacional – 2005**  
(%)

Produto	Participação	Produto	Participação
Arroz em casca	0,6	Exp. florestal e silvicultura	13,5
Milho em grão	4,3	Bovinos, suínos e aves	6,2
Trigo e outros cereais	0,1	Leite natural	3,9
Cana-de-Açúcar	0,6	Outros prod. e serv. da lavoura	14,7
Soja em grão	4,9	Mineração	4,8
Mandioca	9,9	Carnes	2,0
Fumo em folha	1,1	Óleos	4,5
Algodão herbáceo	13,9	Laticínios	2,7
Frutas cítricas	5,4	Arroz beneficiado	2,7
Café em grão	5,9	Óleos combustíveis e gás	11,8
Usinagem e refino de açúcar	0,5	Petroquímicos	10,4
Café processado	2,7	Outros manufaturados	5,3
Outros produtos alimentares	2,1	Automóveis	5,4
Têxteis, vestuário e calçados	3,1	Metalúrgicos	2,6
Celulose, papel e gráfica	2,5	Comércio	3,7
Gasolina	11,8	Transporte	3,4
Gasó-álcool	11,8	Serviços	4,3
Álcool	0,6		

Fonte: Pesquisa Agrícola Municipal, 2006; Pesquisa Industrial Anual, 2006; Pesquisa Anual de Serviço, 2006.



A Tabela 2 contém o que se definiu como dez intervalos de classe de trabalho na PNAD. O objetivo da segmentação é atribuir o perfil de trabalho utilizado para cada atividade, evidenciando as capacitações necessárias. Tal como realizado para as classes de trabalho, as classes de consumo familiares foram divididas em dez intervalos, considerando o poder de compra disponível, conforme Tabela 3. Evidentemente, as dez classes possuem perfis de consumo distintos, como a concentração do orçamento familiar em alimentos nas classes de consumo mais baixas e a predominância de produtos industriais e de serviços no orçamento das famílias com maior poder de compra. Na Tabela 4, encontra-se o perfil das classes de consumo para as famílias baianas pela distribuição percentual. É possível também perceber que, apesar de ser apenas 2,85% do total de famílias baianas, a classe familiar que tem rendimentos acima de 30 salários mínimos responde por 20,5% do consumo do estado. Em reverso, embora a parcela das famílias que têm um total de rendimento equivalente a até dois salários mínimos seja de 30,1% do total, o poder de consumo corresponde apenas a 4,4% do total.

Classe	Rendimento limite (R\$ de 2005)	Classe	Rendimento limite (R\$ de 2005)
OCC1	150	OCC6	500
OCC2	250	OCC7	620
OCC3	300	OCC8	900
OCC4	350	OCC9	1.500
OCC5	400	OCC10	Acima de 1.500

Fonte: Dados da pesquisa.

Finalmente, uma última definição está ligada aos choques. Estes choques estão relacionados aos efeitos esperados sobre áreas aptas tornando-se inaptas, conforme os registros dos quadros 1 e 2. Para cada um dos estados brasileiros, houve um choque semelhante, obedecendo às características

**Tabela 3**  
Classificação das classes de consumo (POF) por rendimento – Bahia

Classe	Rendimento (salários mínimos)	Classe	Rendimento (salários mínimos)
POF1	[0-2]	POF6	]8-10]
POF2	]2-3]	POF7	]10-15]
POF3	]3-5]	POF8	]15-20]
POF4	]5-6]	POF9	]20-30]
POF5	]6-8]	POF10	>30

Fonte: Dados da pesquisa.

**Tabela 4**  
Composição das classes de consumo em participação percentual – Bahia

Total de famílias									
POF1	POF2	POF3	POF4	POF5	POF6	POF7	POF8	POF9	POF10
30,1	18,6	19,2	6,5	6,8	4,7	6,0	2,7	2,7	2,8
Total do consumo									
POF1	POF2	POF3	POF4	POF5	POF6	POF7	POF8	POF9	POF10
4,4	8,4	15,1	5,6	9,1	6,9	10,5	8,0	11,5	20,5

Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2004).

dos efeitos locais. Os choques ocorrem sobre o valor de produção das culturas afetadas, correspondendo ao total produzido nas microrregiões afetadas, conforme a Pesquisa Agrícola Municipal (PAM) de 2005. Outro choque é sobre o total de áreas de cada cultura, contemplando as diferenças de produtividade de cada solo sujeito à mudança climática. Um terceiro choque é sobre o total de áreas do estado, para que se possam incorporar efeitos de culturas sem cenário, mas que também estão expostas ao problema da mudança climática. O caso do café merece um comentário adicional, pois, embora seja previsto que todas as microrregiões tornem-se inaptas, limitou-se o choque à queda de 80%, já que, embora o conceito de inaptidão da Embrapa seja efetivo, alguns produtores o ignoram e permanecem produzindo, apesar da recomendação contrária. A Tabela 5 resume os choques realizados para o estado da Bahia.

**Tabela 5**  
Efeitos estudados da mudança climática – Bahia

Produto	2020/A2 (valor da produção)	2020/A2 (uso da terra)	2070/B2 (valor da produção)	2070/B2 (uso da terra)
Algodão	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Arroz	-3,5%	-2,9%	-3,5%	-2,9%
Café	-80,0%	-80,0%	-80,0%	-80,0%
Cana	-5,0%	0,0%	-10,0%	0,0%
Feijão	-5,4%	-4,6%	-6,3%	-5,6%
Mandioca	-18,0%	-19,3%	-19,6%	-21,0%
Milho	-13,4%	-32,3%	-36,2%	-74,4%
Soja	-0,4%	-0,4%	-0,4%	-0,4%
Total terra	-	-15,0%	-	-25,0%

Fonte: Dados da pesquisa com base em Pinto e Assad (2008).

## RESULTADOS

A partir das definições e estruturação do modelo e da simulação de efeitos a ser realizada é possível obter os resultados relativos à nova configuração econômica após os efeitos serem considerados. Deste modo, o equilíbrio inicial da economia é comparado ao novo equilíbrio, e os efeitos podem ser analisados. Ressalte-se que a simulação foi realizada para todos os estados em conjunto, contemplando diferentes realidades. Portanto, em certo sentido, os resultados aqui apresentados não são apenas os dos efeitos da Bahia, mas antes em todo território nacional em conjunto. Dessa forma, portanto, uma parcela dos resultados é devida à interação com efeitos de outras unidades federativas.

A Tabela 6 contém os resultados relativos aos agregados macroeconômicos, produto bruto, consumo das famílias, exportações (em volume), importações (em volume) e investimento, além de emprego e salário real. Os resultados demonstram um importante impacto sobre a Bahia, inferior, porém, ao da maioria dos estados nordestinos. No cenário mais brando, entretanto, o impacto seria de -1,57% no PIB. Esse resultado se agravaria no cenário mais severo, ocasionando a perda de -2,34% do PIB

baiano. O segundo resultado, além de maior, mostra um perfil distinto em relação ao primeiro, pois a queda seria concentrada no consumo das famílias. Tal comportamento é justificado à luz da queda no salário real significativamente maior no segundo cenário, fruto da menor demanda por trabalhadores a partir não apenas da queda no setor agrícola, mas de todos os setores econômicos. Finalmente, há a perspectiva de aumento no volume de exportação, consequência direta da queda de renda interna que seria observada em toda a economia brasileira, ainda que haja expectativa de diminuição de preços oriunda de um choque positivo na agricultura dos países temperados. Ressalte-se que, na comparação com os resultados do Nordeste, a Bahia é menos atingida, em função da conformação climática e disponibilidade de recursos hídricos, que os demais estados nordestinos.

**Tabela 6**  
Resultados macroeconômicos – Bahia

	2020/A2	2070/B2
PIB real	-1,57%	-2,34%
Consumo das famílias	-1,04%	-2,80%
Investimento	-0,68%	-0,91%
Exportações (em volume)	+5,66%	+9,06%
Importações (em volume)	-0,56%	-0,75%
Emprego	-0,28%	-0,47%
Salário real	-0,77%	-2,34%

Fonte: Resultados do modelo.

A Tabela 7 indica de que maneira os efeitos do emprego se distribuiriam nas dez diferentes classes de trabalho. Pela tabela, é possível notar que as ocupações com melhores remunerações seriam menos demandadas na Bahia após os cenários de mudança climática se confirmarem, ocasionando migração. Ocorre o contrário com as ocupações pior remuneradas, nas quais a demanda por trabalhadores seria maior. Os resultados, portanto, sugerem que a Bahia perderia mão de

obra qualificada e recepcionaria mão de obra menos qualificada na presença desses efeitos.

Note-se, ademais, que essa relação é crescente conforme se avance nas classes de remuneração. Esse total de variações perfaz as variações agregadas para o emprego, salário real e consumo das famílias contidas na Tabela 6.

<b>Tabela 7</b> Variação percentual do emprego por categoria de ocupação									
2020/A2									
OCC1	OCC2	OCC3	OCC4	OCC5	OCC6	OCC7	OCC8	OCC9	OCC10
0,71	-0,58	0,21	-0,20	-0,07	-0,29	-0,19	-0,43	-0,65	-0,40
2070/B2									
OCC1	OCC2	OCC3	OCC4	OCC5	OCC6	OCC7	OCC8	OCC9	OCC10
1,68	0,13	0,10	-0,37	-0,45	-0,69	-0,69	-1,00	-0,94	-0,67

Fonte: Resultados do modelo.

<b>Tabela 8</b> Variação percentual do índice de preços por faixa de consumo									
2020/A2									
POF1	POF2	POF3	POF4	POF5	POF6	POF7	POF8	POF9	POF10
1,28	1,10	0,75	0,58	0,38	0,34	0,00	0,01	-0,08	-0,11
2070/B2									
POF1	POF2	POF3	POF4	POF5	POF6	POF7	POF8	POF9	POF10
2,30	1,97	1,29	0,86	0,62	0,42	0,01	-0,17	-0,38	-0,58

Fonte: Resultados do modelo.

Por outro lado, consideradas as faixas de consumo das famílias baianas, há uma tendência geral de aumento do índice de preços para as seis primeiras classes, ou famílias que possuem até 10 salários mínimos de poder de consumo. Já as classes de consumo com maior poder aquisitivo sentiriam queda no índice de preços, consequência do perfil de consumo, com menor peso para produtos agrícolas. O resultado, portanto, sugere que uma maior desigualdade na distribuição de consumo poderia ser notada

após os choques de mudança climática, resultado esse generalizado para todo o território nacional.

Nas tabelas 9 e 10 encontram-se resultados setoriais para a Bahia. O objetivo é tentar inferir o que pode ocorrer em indústrias selecionadas e ilustrar melhor os resultados até o momento discutidos.

Na Tabela 9 encontram-se resultados por produto de variações na atividade econômica. Os resultados para as oito culturas estudadas são exógenos, ou seja, foram definidos no modelo. Entretanto, suas repercussões na economia são captadas pela matriz de insumo-produto nacional de 2005 e a partir da distribuição da parcela correspondente à Bahia. Portanto, uma queda na produção de arroz em casca repercute na produção de arroz beneficiado, por exemplo. Ou seja, há repercussões em todos os setores em que há consumo intermediário do produto. Para o cenário de 2020/A2, pode-se notar que, exceção feita a setores industriais não relacionados ao agronegócio (mineração, gasolina, álcool, óleos combustíveis e gás, petroquímicos, automóveis e metalúrgicos), os demais apresentam variações negativas. Para o cenário de 2070/B2, todavia, o resultado da exploração florestal e silvicultura torna-se positivo, ao passo que o de óleos combustíveis e gases e álcool torna-se negativo. Em compensação, os resultados positivos para mineração, automóveis e petroquímicos se intensificam. Mais importante, os setores de serviços, comércio e transporte apresentam queda decorrente da diminuição do nível geral de renda. Ou seja, apenas os setores industriais que não têm relações diretas com a agricultura se beneficiariam.

A razão básica para esse comportamento pode ser observada na Tabela 10, na qual são apresentadas as variações de custo unitárias por produto, livres de impostos. Como se vê, para os produtos afetados pela mudança climática, esse aumento no custo de produção é significativo. Em geral, o comportamento do custo é o inverso da atividade econômica, exceto para os setores de têxteis e calçados, comércio, transporte e serviços. Mais importante, a variação negativa no custo unitário de produção é justificada, uma vez que fatores produtivos,

**Tabela 9**  
**Variação percentual do produto por atividade econômica – Bahia**

Produto	2020/A2	2070/B2	Produto	2020/A2	2070/B2
Arroz em casca	-3,50	-3,50	Arroz beneficiado	-3,80	-2,69
Milho em grão	-13,40	-36,20	Usinagem e refino de açúcar	-6,69	-6,74
Trigo e outros cereais	-7,51	-8,41	Café processado	-2,73	-2,30
Cana-de-Açúcar	-5,00	-10,00	Outros produtos alimentares	-4,14	-5,86
Soja em grão	-0,40	-0,40	Têxteis, vestuário e calçados	-0,97	-1,72
Mandioca	-18,00	-19,60	Celulose, papel e gráfica	-0,78	-0,63
Fumo em folha	-3,91	-4,70	Gasolina	0,94	0,70
Algodão herbáceo	-2,35	-1,63	Gasó-álcool	-3,28	-5,65
Frutas cítricas	-2,26	-1,40	Álcool	13,21	-6,59
Café em grão	-80,00	-80,00	Óleos combustíveis e gás	0,01	-0,55
Exp. florestal e silvicultura	-1,55	1,27	Petroquímicos	1,48	2,43
Bovinos, suínos e aves	-2,82	-5,12	Outros manufaturados	-0,16	-0,29
Leite natural	-3,40	-5,73	Automóveis	1,94	5,68
Outros prod. e serv. da lavoura	-5,38	-6,32	Metalúrgicos	2,03	5,07
Mineração	0,72	1,72	Comércio	-0,17	-0,33
Carnes	-4,90	-5,50	Transporte	-0,75	-1,25
Óleos	-4,84	-6,01	Serviços	-0,91	-1,84
Laticínios	-3,99	-4,86			

Fonte: Resultados do modelo.

**Tabela 10**  
**Variação percentual do custo de produção unitário por produto – Bahia (1)**

Produto	2020/A2	2070/B2	Produto	2020/A2	2070/B2
Arroz em casca	29,95	32,24	Arroz beneficiado	2,50	6,34
Milho em grão	56,41	140,31	Usinagem e refino de açúcar	1,87	6,90
Trigo e outros cereais	1,55	1,56	Café processado	2,37	6,74
Cana-de-Açúcar	-51,11	21,11	Outros produtos alimentares	2,46	6,48
Soja em grão	2,30	2,73	Têxteis, vestuário e calçados	-0,1	-0,75
Mandioca	82,33	85,55	Celulose, papel e gráfica	-0,05	-0,80
Fumo em folha	3,56	3,36	Gasolina	-0,57	-0,22
Algodão herbáceo	2,83	2,94	Gasó-álcool	-0,59	-0,20
Frutas cítricas	3,20	3,33	Álcool	-13,81	6,65
Café em grão	110,72	110,63	Óleos combustíveis e gás	-0,58	-0,23
Exp. florestal e silvicultura	2,41	2,57	Petroquímicos	-0,44	-0,53
Bovinos, suínos e aves	3,98	6,88	Outros manufaturados	-0,28	-0,59
Leite natural	2,75	5,14	Automóveis	-0,14	-0,77
Outros prod. e serv. da lavoura	12,58	15,81	Metalúrgicos	-0,22	-1,03
Mineração	-0,11	-0,85	Comércio	-0,47	-1,53
Carnes	2,55	6,92	Transporte	-0,41	-1,31
Óleos	2,62	7,19	Serviços	-0,39	-1,48
Laticínios	2,61	7,11			

Fonte: Resultados do modelo.  
 (1) Sem variação de impostos.

capital e trabalho, foram liberados da agricultura a partir do choque de oferta sobre esta. Desse modo, uma maior quantidade de capital e trabalho “livres” faz com que o preço destes fatores seja reduzido, ocasionando uma queda no seu preço. Esse fato justifica, adicionalmente, os resultados da Tabela 8, na qual o índice de preços das famílias mais ricas declina frente aos efeitos da mudança climática.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como se pode verificar da análise realizada, os impactos possíveis sobre a economia do estado da Bahia decorrentes dos cenários de impactos das mudanças climáticas sobre a agricultura podem ser significativos. Nossos resultados mostraram que o impacto sobre o PIB do estado pode chegar a uma queda de 2,34% no pior cenário. Os resultados apontam ainda para uma mudança na estrutura do emprego da economia do estado, com redução no emprego de trabalhadores de maior qualificação e aumento relativo no emprego de trabalhadores de menor qualificação.

Além disso, o estudo chama a atenção para a potencial elevação de preços da cesta de consumo das famílias de menor nível de renda, o que tem implicações óbvias para o bem-estar destas famílias, que têm sua cesta de consumo concentrada em produtos cujos preços devem se elevar relativamente mais. Este é um desafio que se coloca para a política pública de pesquisa para o futuro, uma vez que estes resultados podem comprometer parte dos ganhos sociais obtidos com as políticas de transferência de renda em curso no Brasil atualmente.

## REFERÊNCIAS

- ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; ZULLO JUNIOR, J. Effects of climate change in Brazilian agriculture. In: BRAZILIAN SYMPOSIUM GLOBAL ENVIRONMENTAL CHANGE, 1., Rio de Janeiro, 2007. Palestra... Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 2007a.
- ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; ZULLO JUNIOR, J. Impacts of global warming in the Brazilian agroclimatic risk zoning. In: DIAS, P. S.; COSTA, W. R.; NUNES, L. H. *A contribution to understanding the regional impacts of global change in South America*. São Paulo: USP, Instituto de Estudos Avançados, 2007b. p. 175-184.
- CANADELL, J. G.; LE QUERE, C.; RAUPACH, M. R.; FIELD, C. B.; BUITENHUIS, E. T.; CIAIS, P.; CONWAY, T. J.; GILLET, N. P.; HOUGHTON, R. A.; MARLAND, G. From the cover: contributions to accelerating atmospheric CO<sub>2</sub> growth from economic activity, carbon intensity, and efficiency of natural sinks. *Proceedings of National Academy Science*, Washington, v. 104, p. 18866-18870, 2007.
- DOMINGUES, E. P.; VIANA, F. D. F.; OLIVEIRA, H. C. *Investimentos em infra-estrutura no Nordeste: projeções de impacto e perspectivas de desenvolvimento*. Belo Horizonte: UFMG/CEDEPLAR, 2007. 36 p. (Texto para discussão, 319).
- DOMINGUES, E. P.; MAGALHÃES, A. S.; RUIZ, R. M. *Cenários de mudanças climáticas e agricultura no Brasil: impactos econômicos na região Nordeste*. Belo Horizonte: CEDEPLAR, 2008. (Texto para discussão, 340).
- FACHINELLO, A. *Avaliação do impacto econômico de possíveis surtos de gripe aviária no Brasil: uma análise de equilíbrio geral computável*. 2008. 161 f. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.
- FERREIRA FILHO, J. B.S. *Introdução aos modelos de equilíbrio geral: conceitos, teoria e aplicações*. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2006. Disponível em: <<http://www.economia.esalq.usp.br/~jbsferre>>. Acesso em: 15 out. 2007.
- FERREIRA FILHO, J. B. S.; HORRIDGE, M. J. Economic integration, poverty and regional inequality in Brazil. *Revista Brasileira de Economia*, Rio de Janeiro, v. 60, p. 363-387, 2006.
- FRIIS-CHRISTENSEN, E. F.; LARSEN, K. Length of the solar cycle: an indicator of solar activity closely associated with climate. *Science*, Washington, v. 254, n. 24, p. 698-700, 1991.
- HERRERA, V. M. V. Mini-ice age: a new scene of climate change in the XXth century. *Eos Trans. AGU*, v. 89, n. 23, 2008. Supplement.
- HERTEL, T. W. *Applied general equilibrium analysis of agricultural and resource policies*. W. Lafayette: Purdue University, Department of Agricultural Economics, 1999. (Staff Paper, 99-2).
- HORRIDGE, M.; MADDEN, J.; WITTEWER, G. The impact of 2002-2003 drought on Australia. *Journal of Policy Modelling*, New York, v. 27, n. 3, p. 285-308, 2005.
- KHOR, M. *Food crisis, climate change and the importance of sustainable agriculture*. Roma: FAO, 2008. Apresentação no Comitê de Segurança Alimentar.

- KRUG, T. *Vulnerabilidade, impactos e adaptação: o caso particular das florestas brasileiras* [nota técnica]. Edição Cachoeira Paulista. Cachoeira Paulista: CPTEC/INPE, 2004. Disponível em: <<http://www.cgee.org.br/atividades/consultaProduto.php?f=1&idProduto=1828>>. Acesso em: 25 abr. 2011.
- KURTZE, C.; SPRINGER, K. *Modelling the economic impact of global warming in a general equilibrium framework*. Kiel: The Kiel Institute of World Economics, 1999. (Kiel Working Paper, 922).
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. *Pesquisa de orçamentos familiares 2002-2003: microdados*. Rio de Janeiro, 2004.
- \_\_\_\_\_. *Pesquisa nacional por amostra de domicílios 2005: microdados*. Rio de Janeiro, 2006.
- \_\_\_\_\_. *Matriz de insumo-produto 2005*. Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/matrizinsumo\\_produto/](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/matrizinsumo_produto/)>. Acesso em: 10 jul. 2011.
- INTERGOVERNAMENTAL PANEL FOR CLIMATE CHANGE - IPCC. *Climate change 2007: the physical science basis: summary for policymakers*. Cambridge: Cambridge University Press, 2007a. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change.
- \_\_\_\_\_. *Climate change 2007: climate change impacts, adaptation and vulnerability*. Cambridge: Cambridge University Press, 2007b. Working group II contribution to the intergovernmental panel on climate change fourth assessment report.
- \_\_\_\_\_. *Climate change 2007: mitigation*. Cambridge: Cambridge University Press, 2007c. Contribution of working group III to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change.
- LEAN, J.; BEER, J.; BRADLEY, R. Reconstruction of solar irradiance since 1610: implications for climate change. *Geophysical Research Letters*, Washington, v. 22, n. 23, p. 3195-3198, 1995.
- LOBELL, D.B.; BURKE, M.B.; TEBALDI, C.; MASTRANDREA, M.D.; FALCON, W.P.; NAYLOR, R.L. Prioritizing climate change adaptation needs for food security in 2030. *Science*, Washington, v. 319, p. 607-610, 2008.
- MARENGO, J. Vulnerabilidade da agricultura do semi-árido à variabilidade natural e a mudanças climáticas. In: BRASIL. Secretaria de Comunicação de Governo e Gestão Estratégica. Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. *Mudança do Clima*. Brasília, fev. 2005. v. 1. p. 182-187. (Cadernos NAE, 3).
- MARENGO, J. et al. *Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI: sumário técnico*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade e Florestas, Diretoria de Conservação da Biodiversidade, 2007. 54 p.
- MEIRELLES, E. J. L. *Intensificação do efeito estufa associada a aumento nas concentrações dos gases CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O E CO<sub>2</sub>*. 1994. 182 f. Tese (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1994.
- MORAES, G. I. A economia da mudança climática e seus efeitos sobre a agricultura e a agroindústria brasileira. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 45., 2007, Londrina. *Anais...* Brasília: SOBER, 2007. 1 CD-ROM.
- PESQUISA AGRÍCOLA MUNICIPAL 2005. Rio de Janeiro: IBGE, 2006.
- PESQUISA ANUAL DE SERVIÇOS 2005. Rio de Janeiro: IBGE, 2006.
- PESQUISA INDUSTRIAL ANUAL 2005. Rio de Janeiro: IBGE, 2006.
- PINTO, H. S.; ASSAD, E. D. (Org.). *Aquecimento global e cenários futuros da agricultura brasileira*. Campinas: EMBRAPA / UNICAMP, 2008. 80 p.
- ROSENZWEIG, C.; TUBIELLO, F. N. Developing climate change impacts and adaptation metrics for agriculture. In: GLOBAL FORUM ON SUSTAINABLE DEVELOPMENT ON THE ECONOMIC BENEFITS OF CLIMATE CHANGE POLICIES. Paris, 2006.
- SALATI, E. Impactos das mudanças climáticas na agricultura. In: BRASIL. Secretaria de Comunicação de Governo e Gestão Estratégica. Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. *Mudança do clima*. Brasília, fev. 2005. v. 1. p. 174-177. (Cadernos NAE, 3).
- SANGHI, A. et al. Global warming impacts on Brazilian agriculture: estimates of the Ricardian Model. *Economia Aplicada*, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 7-33, 1997.
- SANTOS, C.V. *Política tributária, nível de atividade econômica e bem-estar: lições de um modelo de equilíbrio geral inter-regional*. 2005. 139 f. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.
- STERN, N. Stern review on the economics of climate change. HM Treasury: Cabinet Office, 2006. Disponível em: <[http://www.hm-treasury.gov.uk/independent\\_reviews/stern\\_review\\_economics\\_climate\\_change/sternreview\\_index.cfm](http://www.hm-treasury.gov.uk/independent_reviews/stern_review_economics_climate_change/sternreview_index.cfm)>. Acesso em: 5 jul. 2011.
- WINGLE, R. *CGE modelling of trade and the environmental*. Montreal, 2001. Disponível em: <<http://www.ajd.umontreal.ca/source-pdf/AJD-38-Wigle-Envir%20and%20trade%2012January-2001.pdf>>. Acesso em: 20 jul. 2011.

Os resultados aqui apresentados são apurados na tese de doutorado intitulada Efeitos econômicos de cenários de mudança climática na agricultura: um exercício a partir de um modelo de equilíbrio geral computável, concluída pelo primeiro autor no programa de Economia Aplicada da ESALQ-USP em 2010 e orientada pelo segundo autor.

Artigo recebido em 12 de agosto de 2011

e aprovado em 30 de setembro de 2011.



**Seção 4:  
Mudança climática e  
matriz energética na  
Bahia**





# Dimensões sociais e ambientais do uso de culturas energéticas para biodiesel no Território Irecê

*Juliano da Silva Lopes\**

*Telma Côrtes Quadros de Andrade\*\**

*Luiz Antônio Magalhães Pontes\*\*\**

\* Mestre em Regulação da Indústria de Energia pela Universidade Salvador (Unifacs); pós-graduado em Agricultura Familiar pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB) e em Gestão Estratégica Pública pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp); graduado em Engenharia Agrônoma pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Diretor de Ensino do Instituto Federal da Bahia (IFBA) – Campus Irecê; professor e pesquisador. [julianolopes@ifba.edu.br](mailto:julianolopes@ifba.edu.br)

\*\* Doutora pela Universidade de São Paulo (USP) e mestre pela Universidade Federal da Bahia (UFBA) em Geofísica; licenciada e bacharela em Física pela UFBA. Diretora de Fortalecimento Tecnológico Empresarial da Secretaria de Ciência, Tecnologia e Inovação (Secti); professora da UFBA. [telma.cortes@secti.ba.gov.br](mailto:telma.cortes@secti.ba.gov.br)

\*\*\* Doutor pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) e mestre pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) em Engenharia Química. Pesquisador do Instituto Brasileiro de Tecnologia e Regulação (IBTR); professor da Unifacs; professor da UFBA. [pontes@unifacs.br](mailto:pontes@unifacs.br)

## Resumo

Analisou-se a produção de biodiesel a partir das dimensões sociais, ambientais, territoriais e econômicas. A pesquisa foi exploratória, com coleta de dados bibliográficos e documentais e observação direta. Foram analisadas a política para o biodiesel como elemento de sustentabilidade energética e inclusão social e a atuação da agricultura familiar no processo, através das características e condições locais de cultivo de cada oleaginosa e da participação da agricultura familiar no Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB). As dificuldades na utilização de algumas oleaginosas estão associadas à falta de informação e de uma política agroenergética regionalizada que priorize o uso de recursos naturais locais. A mamona e o girassol são as oleaginosas mais adequadas para fornecimento pela agricultura familiar no Território Irecê para produção de biodiesel no âmbito do PNPB.

**Palavras-chave:** Biodiesel. Culturas energéticas. Desenvolvimento. Sustentabilidade. Território Irecê.

## Abstract

*The production of biodiesel was analyzed from social, environmental and economic points of view. The research was exploratory, using bibliographic data, documents, and direct observation. Biodiesel policy was analyzed as a component of energy sustainability, social inclusion, and the role of family farming in the process, through the characteristics and local conditions of cultivation of each oleaginous crop and the participation of family farming in the National Program of Biodiesel Production and Use (PNPB). The difficulties in using some oleaginous crops are associated with lack of information and a regionalized agro-energy policy that prioritizes the use of local natural resources. The castor bean and sunflower seeds are the most appropriate crops to be provided by family farming in the Territory Irecê for biodiesel production under the auspices of the PNPB.*

**Keywords:** Biodiesel. Energy crops. Development. Sustainability. Irecê Territory.

## INTRODUÇÃO

O elevado preço do petróleo, a problemática geopolítica de sua extração, bem como as discussões sobre as externalidades negativas da sua produção e consumo, intensificaram a elaboração de políticas públicas voltadas ao desenvolvimento e uso de fontes renováveis de energia, em particular o biodiesel, nesse início de século XXI. A demanda por biocombustíveis aumenta à medida que os países estabelecem metas de redução de gases do efeito estufa. No entanto, os investimentos internacionais na produção de biocombustíveis em países como o Brasil não estão associados somente aos preços do petróleo. Relacionam-se, em parte, a mandatos europeus preocupados com os gases do efeito estufa (GEE) e as mudanças climáticas globais, além de efeitos indiretos, como o arrefecimento em âmbito local, decorrente do uso da cana-de-açúcar em culturas existentes e pastagens, segundo Loarie (2011).

Dados do European Biodiesel Board (apud KROHLING *et al.*, 2009) mostram que o biodiesel vem sendo produzido em larga escala na União Europeia (UE) desde 1992, onde este biocombustível vem recebendo incentivo através de uma forte desoneração tributária e de importantes alterações na legislação ambiental, além do apoio dos fabricantes europeus de motores ao B5. Nos EUA, há uma série de incentivos fiscais para o biodiesel, e as legislações estaduais estipulam sua adição ao diesel entre 2% e 5%, tendo como principal oleaginosa a soja. Alguns estados americanos estimulam a utilização de energias limpas, com isenções fiscais sobre os combustíveis renováveis (KROHLING, 2009; REDE BAIANA DE BIOCMBUSTÍVEIS, 2009).

O Brasil tem investido na produção de biocombustíveis – etanol, biodiesel – como forma de aumentar o crescimento econômico e as exportações

### **O Brasil tem investido na produção de biocombustíveis – etanol, biodiesel – como forma de aumentar o crescimento econômico e as exportações e estimular o desenvolvimento rural e a redução da pobreza**

e estimular o desenvolvimento rural e a redução da pobreza. O biodiesel foi inserido na matriz energética brasileira como componente renovável e em caráter complementar às demais fontes de energia. Com base nos dados do Balanço Energético Nacional de 2010 sobre a matriz energética que tem como referência o ano anterior, em 2009, 53,2 % da produção de energia primária é não renovável e, destes, 41,9% advém do petróleo (BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL, 2010). Apesar de o biodiesel ainda possuir um custo de produção relativamente alto, deve-se considerar as externalidades positivas ambientais. A viabilidade não deve ser analisada somente pelo preço, pois, em longo prazo, o custo ambiental poderá ser muito alto. Segundo a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (2011)<sup>1</sup>, 83,26% do biodiesel brasileiro ainda provém da soja; 12,34% de gordura bovina; 2,17% do óleo do caroço do algodão; 0,90% de óleo de fritura usado; 0,43% de gordura de porco; 0,01% de gordura de frango e 0,90% de outros materiais graxos.

Pelo menos 90 espécies de vegetais conhecidas no Brasil poderiam servir como matéria-prima para a produção de biodiesel. A Bahia desponta como o primeiro produtor de mamona, segundo de algodão, segundo de dendê, terceiro de amendoim, quinto de girassol e sexto de soja, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2008). Apesar disso, verificou-se que 97,6% da produção nacional de biodiesel tem como base as cadeias produtivas nas quais predominam os grandes complexos agroindustriais, impedindo uma maior participação da agricultura familiar e uma melhor distribuição regional da sua produção (LOPES, 2010).

<sup>1</sup> Boletim mensal de biodiesel tendo como referência o mês de junho de 2011.

O impacto do mercado mundial de biocombustíveis na expansão da agricultura brasileira e suas consequências para as mudanças climáticas foram analisados pelo WWF em 2009. No cenário intermediário de demanda de biocombustíveis (*bio balan-*ce), para atender à demanda projetada de biodiesel para 2020, com base na soja, a sua área plantada no Brasil

teria que registrar um crescimento absoluto de 14,0 milhões de hectares. A modelagem utilizada indicou que a soja crescerá principalmente nas regiões Centro-Oeste e Nordeste (3,14 milhões de hectares na Bahia), respondendo por 78% do crescimento exigido na área plantada. Estão desconsiderados os quase 2,5 milhões de hectares demandados em projeção pelo mesmo estudo, para o milho, sorgo, arroz, algodão, pinhão-manso e cana-de-açúcar. Destaca-se que no oeste baiano, onde está concentrada a produção de soja na Bahia, o preço por hectare de terra, o quarto maior do Brasil, é de R\$ 3.800,00 (WORLD WILDLIFE FUND, 2009).

A Resolução nº 6 do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), de 16/9/2009 (BRASIL, 2009), que estabelece em 5% (B5), em volume, o percentual mínimo obrigatório de adição de biodiesel ao óleo diesel comercializado ao consumidor final, ressalta que o B5 deve favorecer a agregação de valor às oleaginosas, o desenvolvimento da indústria nacional de bens e serviços e a ampliação da geração de emprego e renda em sua cadeia produtiva, com caráter nitidamente social, com enfoque na agricultura familiar. Com a Lei nº 11.097/05, de 13/1/2005, que estabeleceu uma trajetória de crescimento do uso comercial do biodiesel no Brasil, esperava-se um grande estímulo à geração de emprego e renda através do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), com forte componente social e agrícola. O PNPB foi implementado como política pública destinada à geração de emprego e renda e à melhoria de sua distribuição, em especial no apoio à pequena propriedade

**O PNPB foi implementado como política pública destinada à geração de emprego e renda e à melhoria de sua distribuição, em especial no apoio à pequena propriedade familiar**

familiar. Muito tem sido discutido nos meios acadêmicos, indústria do biodiesel, setor agrícola e governo a respeito da sustentabilidade do biodiesel, que vem sendo produzido majoritariamente a partir

de matérias-primas concentradas regionalmente e que possuem cadeias produtivas com maior rigidez produtiva.

Diversos trabalhos têm analisado as matérias-primas

para a indústria do biodiesel, em sua maioria restringindo-se a estudos de viabilidade técnico-econômica. Raramente têm-se considerado as dimensões da sustentabilidade, como a social, a ambiental, a territorial e a econômica. Embora importante, o volume de produção não deve ser o único critério na escolha de culturas energéticas para produção de biocombustíveis. Fatores como rendimento de óleo/hectare, custo de produção agrícola, balanço energético nas etapas agrícola e industrial, função social e possibilidade de consórcio e de cultivo em pequenas unidades produtivas devem ser considerados. O desafio é selecionar matérias-primas que apresentem maiores vantagens e melhores perspectivas, direcionando-lhes políticas públicas adequadas e a devida atenção em termos de desenvolvimento tecnológico, pesquisas, logística de produção e distribuição. Equacionadas essas questões, o biodiesel se justifica pelas suas externalidades positivas, como a ambiental, com as reduções das emissões, e a social, com a geração de emprego e renda no campo, devendo se consolidar sobre bases sustentáveis.

Esse trabalho teve como objetivo analisar as dimensões sociais e ambientais de culturas energéticas para produção de biodiesel no âmbito do PNPB, como elemento mitigador das mudanças climáticas e como estratégia de sustentabilidade energética e para bases do desenvolvimento territorial, priorizando as condições e características locais. A pesquisa foi limitada ao Território Irecê, localizado no noroeste da Bahia, que se insere totalmente no semiárido baiano, fazendo divisa a oeste com o Território

Velho Chico, ao sul com Chapada Diamantina e a leste com o Piemonte da Diamantina. Dos 20 municípios que formam o Território Irecê, 10 localizam-se ao redor de Irecê, o núcleo dinâmico, indicando a formação de um subsistema urbano entre estes.

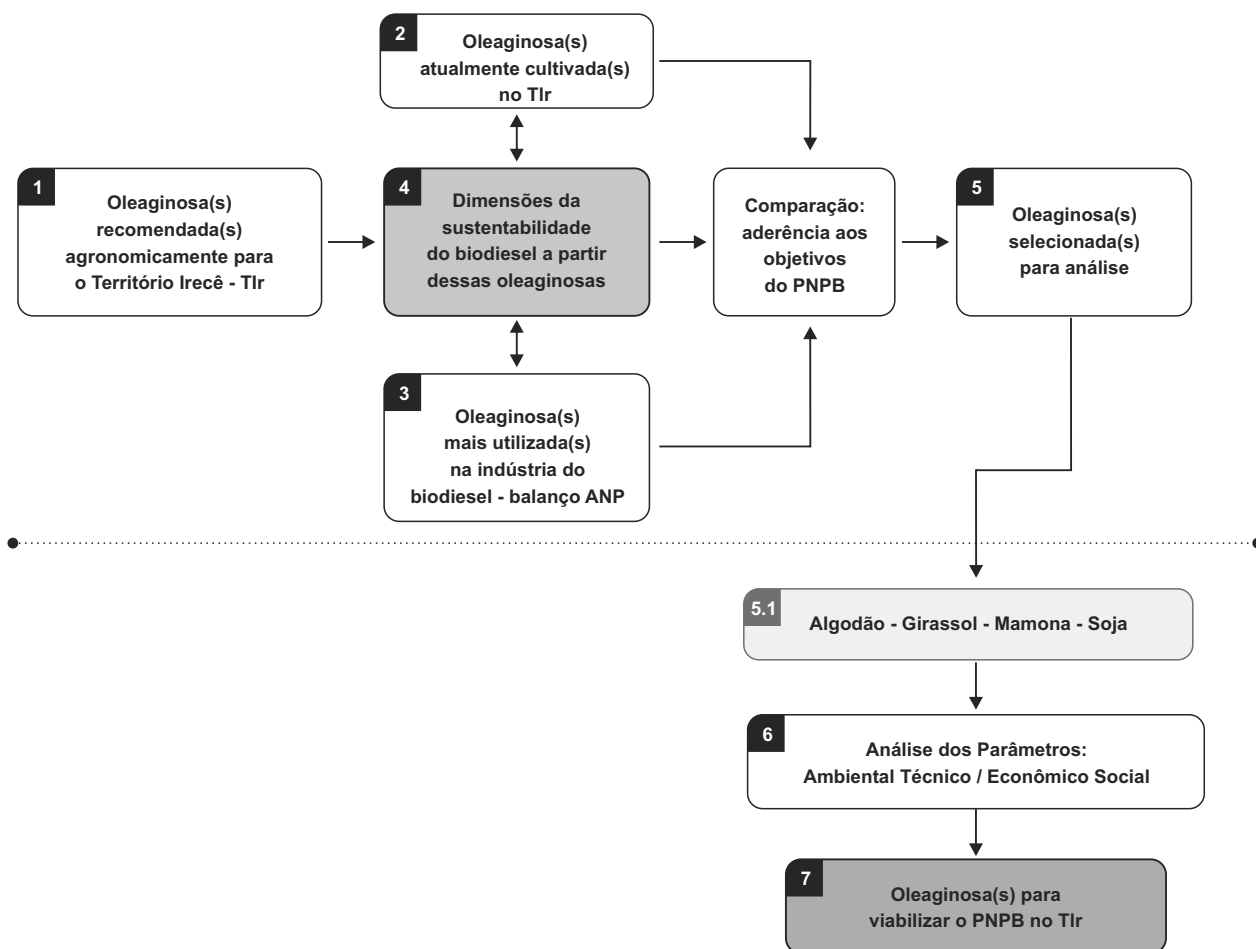
## METODOLOGIA

Neste estudo foram consideradas as dimensões sociais e ambientais, aderências aos objetivos do PNPB e condições locais para a produção de biodiesel.

Inicialmente, compararam-se (Figura 1) as oleaginosas atualmente cultivadas no Território Irecê com as oleaginosas mais utilizadas na indústria do

biodiesel e, em seguida, foi realizada uma avaliação da aderência aos objetivos do PNPB.

O esquema da Figura 1 é uma síntese da metodologia utilizada para análise de oleaginosas para o PNPB no Território Irecê. Caso a análise fosse direcionada à indústria do biodiesel, o modelo não se aplicaria, pois, como política pública, o programa considera outros elementos que não somente a viabilidade técnico-econômica. Outros elementos que podem estar acima ou abaixo do nível de decisão técnico-econômica, porém não menos importantes, são considerados. A partir das informações já disponíveis e associadas aos dados das caixas 2 e 3 do fluxograma descrito no modelo, a análise de oleaginosas, observada a aderência



**Figura 1**  
Fluxograma do modelo de avaliação de oleaginosas para o PNPB

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da pesquisa.

aos objetivos do PNPB e as dimensões da sustentabilidade, a pesquisa ficou delimitada ao algodão, girassol, mamona e soja.

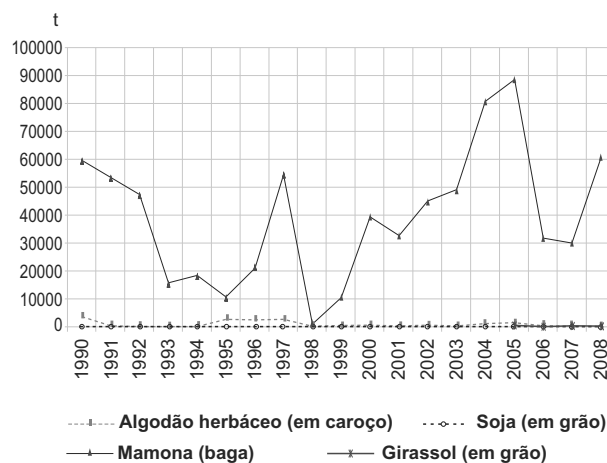
## DIMENSÕES DA SUSTENTABILIDADE DO BIODIESEL

A multidimensionalidade do fenômeno da sustentabilidade é bastante explorada por Sachs (2010), que propõe alguns critérios de sustentabilidade que compreendem as seguintes dimensões: social – implica o alcance de um patamar razoável de homogeneidade social, distribuição de renda justa e igualdade no acesso aos recursos e serviços sociais; ambiental – respeito e realce da capacidade de autodepuração dos sistemas naturais; territorial – manutenção das configurações urbanas e rurais de forma balanceada, superação das disparidades inter-regionais e utilização de estratégias de desenvolvimento ambientalmente seguras para áreas ecologicamente frágeis; econômica – desenvolvimento intersetorial equilibrado, segurança alimentar, capacidade contínua de modernização dos instrumentos de produção e inserção soberana na economia internacional.

A busca do significado do termo sustentabilidade encontra uma clara interface no desenvolvimento sustentável. Para que o PNPB alcance os resultados pretendidos de consolidar o biodiesel como uma alternativa viável para complementar a matriz energética nacional e fomentar o desenvolvimento territorial com o fortalecimento de agricultura familiar, é preciso vislumbrar uma estratégia de desenvolvimento sustentável. Nela devem estar agregados valores sociais, ambientais e econômicos, envolvendo, também, uma dimensão cultural. Em seguida, é apresentada uma discussão acerca das dimensões da sustentabilidade do biodiesel, confrontando matérias-primas que se inserem de formas diferentes nas diversas cadeias produtivas e é analisada a estratégia de produção de biodiesel que mais se ajusta a uma proposta de desenvolvimento sustentável.

## Dimensões técnicas e econômicas

A Bahia possui condições de solo e clima para produção de oleaginosas em todo o seu território. Essa produção tanto pode estar baseada em culturas nativas, como é o caso do babaçu, ou cultivadas também para produção de biodiesel, como a mamona, soja, algodão, girassol, dentre outras. Aqui são discutidos aspectos da dimensão técnico-econômica do biodiesel produzido a partir de óleos vegetais, com enfoque no girassol e mamona, por serem atualmente cultivados no Território Irecê, e no algodão e na soja, mais utilizados pela indústria do biodiesel. No Gráfico 1, são mostrados dados de produção das principais oleaginosas cultivadas no Território Irecê no período de 1990 a 2008.



**Gráfico 1**  
Evolução da produção de oleaginosas  
Território de Irecê – 1990-2008

Fonte: IBGE/Sidra-PAM (2009).  
Nota: Elaboração própria.

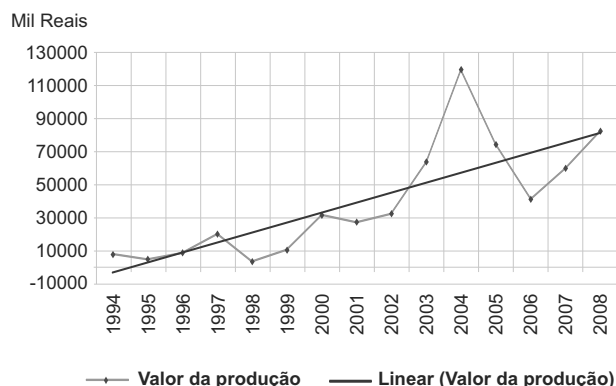
Mesmo do ponto de vista econômico, a soja não é a opção mais atrativa para produção de biodiesel no que concerne ao custo de produção do seu óleo, quando comparada com outras oleaginosas, como se pode ver na Tabela 1. Entretanto, a escala de produção, as opções de conversibilidade do produto e a forma como está estruturado o seu complexo colocam o biodiesel de soja como uma alternativa a ser fortemente considerada.

**Tabela 1**  
Alternativas brasileiras para produção de óleo vegetal

Oleaginosa	Produção (1000 t)	Rendimento médio (kg/ha)	Preço médio (R\$/t)	Teor de óleo (%)	Custo do óleo
Dendê	772	9.123	62	22	283
Girassol	60	1.500	267	44	606
Mamona	99	768	390	48	813
Soja	52.017	2.800	290	18-20	1.609

Fonte: Vianna e outros (2006).

Em estudo sobre o custo de produção do biodiesel, Barros e outros (2006) verificaram que o custo do biodiesel a partir da soja é mais que o dobro do obtido a partir de caroço de algodão, caracterizando-a como a matéria-prima menos competitiva para o biocombustível no Nordeste. Comparado à mamona, o caroço de algodão também tem vantagem próxima aos 100%, explicada pelo dispêndio com a matéria-prima agrícola. A soja perde por sua produtividade baixa (2.500 kg/ha ou 41 sc/ha) na região, e o caroço de algodão possui a vantagem de ter o preço de mercado reduzido. De acordo com Barros e outros (2006), o biodiesel de óleo do caroço do algodão no Nordeste é o mais barato do Brasil, saindo a um custo de R\$ 0,662/l, considerando-se a produção verticalizada numa planta de 100 mil toneladas por ano. Em um



**Gráfico 2**  
Valor da produção de mamona  
Bahia – 1994-2008

Fonte: IBGE/Sidra-PAM (2009).  
Nota: Elaboração própria.

cálculo integrado, para que a mamona fosse tão competitiva, partindo-se do seu custo de produção, quanto o caroço de algodão, seria necessária uma produtividade de 2.500 kg/ha ou que o preço de mercado da saca de 60 kg de baga fosse de R\$ 12,35. Dificilmente o preço da mamona voltará a este patamar, conforme tendência do valor da produção da oleaginosa mostrada no Gráfico 2.

As possibilidades de sucesso da produção do biodiesel no Brasil estão centradas em pelo menos quatro elementos:

- 1) disponibilidade e potencialidade de produção de matérias-primas, com aproveitamento de culturas convencionais, utilização de oleaginosas para a produção de biodiesel;
- 2) vontade e decisão política de investir em combustível renovável;
- 3) desenvolvimento de pesquisas científicas voltadas para o tema;
- 4) experiências associativas que podem, na prática, agregar valor aos produtos e melhor inserir os produtores na cadeia produtiva do biodiesel (VIANNA *et al*, 2006).

O predomínio do óleo de soja sobre as demais matérias-primas na indústria do biodiesel não contribui para a descentralização das economias e fortalecimento da economia solidária. As restrições à entrada de novas empresas no complexo da soja estão levando à concentração do controle do setor de esmagamento em grandes grupos do complexo agroindustrial, dos quais 50% são controlados por apenas quatro aglomerados econômicos. Portanto, a incorporação das unidades de transesterificação às plantas de esmagamento não alteraria a atual distribuição do controle do segmento agroindustrial, uma vez que é no segmento de produção de óleo que estão as melhores oportunidades de melhoria futura da competitividade do complexo soja.

Na Tabela 2 estão alguns resultados esperados com os cultivos do algodão, amendoim, girassol e mamona em sistema de produção familiar. Essas oleaginosas possuem maior aderência ao

**Tabela 2**  
**Resultados do cultivo de oleaginosas isoladas e em consórcio**

Cultura R\$/kg	Custo	Isolado		Conso- rciado		Custo de produção (R\$/ha)		Margem (R\$/ha)	
		Produ- tividade kg/ha/ano	Receita R\$/ha	Produ- tividade kg/ha/ano	Receita R\$/ha	Isolado	Conso- rciado	Isolado	Conso- rciado
Algodão herbáceo	1,03	400-1.000	721	250-400	1.154	600	300	121	854
Amendoim	0,65	400-700	358	300-400	1.047	800	350	(442)	697
Girassol	0,50	300-600	225	250-400	982	600	250	(375)	732
Mamona	0,56	400-1.500	532	300-600	1.071	600	300	(68)	771

Fonte: Cartaxo e outros (2007).

Nota: Adaptado pelo autor.

PNPB, fazem uso intensivo de mão de obra e, no caso do girassol e da mamona, se adaptam bem às condições edafoclimáticas do Território Irecê. O algodão herbáceo é cultivado no território, mas, para se obter melhor produtividade, necessita-se de maior padrão tecnológico, fora da realidade da agricultura familiar, que faz uso de tecnologias tradicionais de baixo custo.

Os números da Tabela 2 estão de acordo com Beltrão e outros (2010), Embrapa (2006b), REBRIP/FASE (2008 apud OLIVEIRA; SANT'ANA, 2009) Albuquerque e outros (2008a), que indicam o sistema de produção em consórcio como alternativa mais viável para a agricultura familiar. Apesar de apresentar uma margem líquida superior à do girassol e da mamona, o algodão herbáceo não é indicado agronomicamente para o Território Irecê, embora seja cultivado em pequena escala. Nos sistemas de produção familiar, comumente a mamona é cultivada em sistema de consórcio com o milho, o feijão-comum, o feijão-de-corda, a melancia, a abóbora, entre outras culturas de interesse comercial e/ou alimentício para os produtores.

Comparando as rotas da soja e da mamona para a produção de biodiesel e analisando os efeitos socioeconômicos, Leite e Cunha (2009) concluíram que, a partir da soja, seriam gerados 11,8 mil empregos. Haveria um aumento no valor da produção setorial de R\$ 1,6 bilhão, ainda que o setor produtor de óleo bruto e farelo de soja

apresentasse um decréscimo em função da oferta de farelo como coproduto da produção de biodiesel. Nesse cenário haveria também um acréscimo no PIB de R\$ 278 milhões, mesmo com a redução de R\$ 130 milhões no setor produtor de biodiesel. Para fazer essa análise, os autores desenvolveram um modelo de insumo-produto para quantificar os impactos, sendo que as simulações foram feitas de modo que a demanda por bens e serviços da economia brasileira permanecesse inalterada.

No cenário a partir da mamona, seriam gerados 102,8 mil empregos, com predominância na estrutura familiar organizada em cooperativas para a produção de biodiesel e seus coprodutos. O nível da atividade setorial aumentaria R\$ 926 milhões, ainda que houvesse uma redução de R\$ 342 milhões no valor da produção agrícola, devido à produção consorciada de feijão no cultivo da mamona. O acréscimo no PIB seria de R\$ 377 milhões, superior ao cenário da soja, pois, no caso da produção de biodiesel a partir da mamona, a proporção da remuneração do fator trabalho no custo de produção é superior. Os autores salientaram que, nos modelos de produção de biodiesel considerados, os empregos relacionados a partir da rota da mamona possuem remuneração que corresponde a 26,3% daquela a partir da rota da soja.

Diante da crescente busca de alternativas para a produção de biodiesel, estudos e iniciativas públicas e privadas têm sido direcionados ao

girassol. Do ponto de vista técnico, a utilização do girassol deve considerar os tipos de ácidos graxos e suas respectivas concentrações, dada a influência das condições climáticas durante o ciclo de cultivo, que podem alterar a composição de ácidos graxos e a viscosidade do óleo (LEITE; CASTRO; SMIDERLE, 2007). Uma das vantagens do girassol é que, em geral, seus grãos não necessitam de aquecimento, moagem ou descascamento para obtenção de óleo e torta. A prensagem pode ser feita em prensas domésticas semi-industriais de pequeno porte, detalhe importante para a agricultura familiar, que possui menos condições de investir em unidades de médio e grande porte.

A eficiência da produção agrícola é fundamental para a competitividade de oleaginosas. O elevado rendimento agrícola (que não acontece hoje para a maioria das oleaginosas, como a mamona, conforme Gráfico 3) permite manter os custos baixos.

Fazendo um paralelo do biodiesel com o etanol, o Brasil ajustou uma tecnologia adequada para a produção de cana-de-açúcar em cada região do país, e os seus subprodutos começaram a apresentar alto interesse econômico, contribuindo para compensar os custos operacionais. A tecnologia de produção condiciona o rendimento das culturas e sua manutenção no longo prazo,

determinando, assim, a possibilidade de manter os custos totais em níveis baixos.

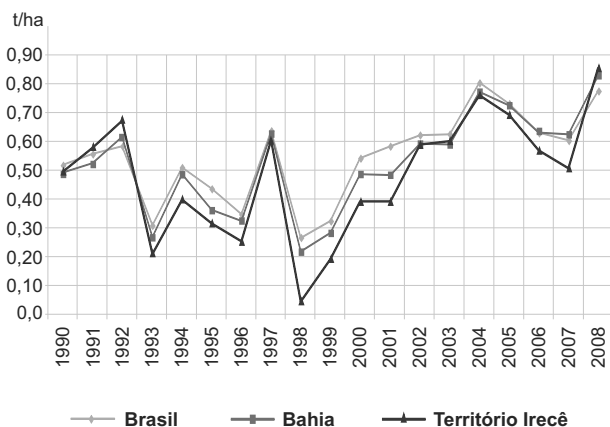
É fundamental que a agricultura familiar tenha acesso às tecnologias modernas para aumentar a sua produção e remunerar melhor as famílias agrícolas. Os sistemas de produção adotados devem levar em consideração as interações entre as atividades produtivas, agrícolas e industriais, com o objetivo de reduzir os custos totais de produção e aproveitar as eventuais complementaridades presentes.

A mamona se destaca por não concorrer com a produção de alimentos, ser rústica e bem adaptada às características do Território Irecê, possuir sementes com alto teor de óleo, grau de insaturação moderado, elevados índices de lubrificidade, número de cetano e teor de oxigênio na molécula e elevada estabilidade térmica e química. Além disso, verificou-se nesse estudo que é a oleaginosa que apresenta maior retorno e melhor se adapta ao sistema de produção em consórcio, principalmente com culturas alimentares, tornando-a mais atrativa para a produção familiar, foco desse trabalho e realidade da área de estudo.

A soja, tanto quanto o algodão, em grande escala de produção, exige uso intensivo de máquinas agrícolas. No Território Irecê, predominam os solos do tipo Cambissolo Eutrófico, segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (1999), que possuem baixa profundidade e, com o uso de máquinas agrícolas pesadas, se compactam muito facilmente, causando problemas quase irreversíveis.

Diferentemente do quadro positivo, seja pela eficiência energética ou pela boa produtividade consorciando energia e alimento, no sistema de monocultivo utilizado para o cultivo da soja e algodão há uma forte entrada de energia fóssil com o uso de produtos químicos e de máquinas agrícolas pesadas. O cultivo consorciado da mamona com o feijão e o milho, por exemplo, torna o sistema mais equilibrado, conforme dados da Tabela 3.

Através do sistema de produção com uso predominante da mão de obra familiar, não ocorre a utilização de máquinas em todas as etapas do



**Gráfico 3**  
Produtividade média da mamona – Brasil, Bahia e Território Irecê

Fonte: IBGE/Sidra-PAM (2009).  
Nota: Elaboração própria.



**Tabela 3**  
Análise da eficiência energética da mamona em diferentes sistemas de consórcio

Sistema	Eficiência energética	Saldo energético (kcal)	Relação entrada/saída	Rendimento (kg/ha)	
				Feijão	Mamona
Consórcio mamona + feijão sem adubação	8,47	4.487.504,3	9,47	300	840
Consórcio mamona + feijão com adubação	3,64	5.312.170,3	4,64	500	1050
Consórcio mamona + gergelim sem adubação	6,89	3.583.302,3	7,89	500	840

Fonte: Albuquerque (2008b, 2008c).  
Nota: Adaptado pelo autor.

cultivo e, quando ocorre, é menos intensa. Isso não quer dizer que no sistema tradicional de cultivo não haja problemas. Sistema de produção sustentável não deve ser confundido com sistema tradicional. A degradação de terras agrícolas tem sido um grave problema ambiental, por levar à redução gradativa da qualidade do solo e da sua produção. O uso inadequado ou a utilização de área inadequada para o cultivo da mamoneira pode representar sério fator de degradação dos solos de uma região e obtenção de baixa produtividade (AZEVEDO; BELTRÃO; SEVERINO, 2007).

A cultura do girassol se desenvolve bem na maioria dos solos agricultáveis. Como se adapta em diversas condições edafoclimáticas, o girassol pode ser cultivado em praticamente todo o país. No entanto, a produção é bastante influenciada pelas condições climáticas durante o ciclo de cultivo, como a temperatura do ar, que pode provocar mudanças na composição de ácidos graxos e na viscosidade do óleo (LEITE; CASTRO; SMIDERLE, 2007). Pode ser cultivado em uma ampla faixa de temperatura. Se exposto a altas temperaturas na fase de maturação da semente, haverá redução de óleo. Exige um bom suprimento de água entre os períodos de germinação até o início do

florescimento. Após a formação dos grãos, a cultura é favorecida por um período seco. O girassol poderá se destacar como matéria-prima para a produção de biodiesel por vários motivos. Em primeiro lugar, por oferecer aos agricultores uma cultura alternativa que, em caráter complementar, possibilita uma segunda colheita sobre a mesma área e no mesmo ano agrícola. Segundo, por ser mais uma alternativa de matéria-prima oleaginosa às indústrias de processamento de grãos, reduzindo sua ociosidade. E terceiro, por produzir um óleo comestível de alto valor nutritivo.

O balanço energético do cultivo do girassol é positivo, com grande perspectiva de aumento de eficiência em função da expansão da produtividade, pelo melhor manejo da cultura e da escolha de genótipos mais produtivos, sem, contudo, aumentar o consumo de fertilizantes, principalmente o nitrogênio. A sua utilização como fonte de matéria-prima para biodiesel estabelece um ciclo fechado de carbono, no qual o CO<sub>2</sub> pode ser absorvido pela planta no seu crescimento, sendo liberado quando o biodiesel é queimado na combustão do motor. Este ciclo fechado contribui para a redução das emissões líquidas de CO<sub>2</sub>.

### Dimensões sociais, ambientais e territoriais

O enfoque da análise de oleaginosas para produção de biodiesel comumente é técnico-econômico, ficando em segundo plano os aspectos socioambientais. Além da emissão de gases, sequestro de carbono e equilíbrio do solo, um fator muito importante é o balanço energético da etapa agrícola da cadeia produtiva do biodiesel. Do ponto de vista socioambiental, são importantes: custo da terra, empregabilidade, grau de mecanização, esgotamento do solo e demanda hídrica (informação verbal)<sup>2</sup>. Pouca atenção vem sendo dada aos

<sup>2</sup> Informação fornecida por Carlos Nagilo Khalil, do Centro de Pesquisas da Petrobras, durante a palestra "A produção de biodiesel por transesterificação direta a partir de semente de mamona", proferida durante o I Congresso Brasileiro de Mamona, ocorrido em Campina Grande (PB) em novembro de 2004.

estudos de balanço energético, os quais estabelecem a relação entre o total de energia contida no biocombustível e o total de energia investida em todo o processo de produção, incluindo-se as etapas agrícola e industrial. Segundo Gazzoni, Felici e Coronato (2007), o balanço energético é o parâmetro mais adequado para definir a viabilidade técnica de um programa de bioenergia. Os autores verificaram um saldo negativo na conversão da soja em biodiesel, e, analisando-se apenas a obtenção de óleo, o girassol mostrou-se mais eficaz.

Resultados importantes foram encontrados por Albuquerque e outros (2008a, 2008b, 2008c) analisando a eficiência energética do sistema de cultivo da mamoneira consorciada com feijão sem adubação, que obteve uma eficiência energética de 8,47 e uma relação saída/entrada de 9,47. Com adubação, os valores foram 3,64 e 4,64, respectivamente. A produção estimada para os sistemas foi de 840 kg/ha de mamona e 300 kg/ha de feijão, sem adubação, e 1.050 kg/ha e 500 kg/ha, no sistema adubado. A vantagem do sistema sem adubação deve-se, exclusivamente, à elevada demanda energética para produção do nitrogênio utilizado no sistema adubado, promovendo, assim, uma redução significativa na eficiência energética para este sistema. Entretanto, de uma maneira geral, a energia de origem fóssil, seja direta (óleo diesel) ou indireta (fertilizantes, produtos fitossanitários etc.), é a que mais encarece energeticamente os sistemas de produção. Nos sistemas estudados, deve-se verificar que apenas a mamona serviria para produção de biocombustível, com a produção de feijão voltada para alimentação humana. Neste caso, o saldo energético do biocombustível será menor que em sistemas de cultivo nos quais ambas as espécies poderão ser utilizadas para produção de biodiesel.

O consórcio mamona + gergelim sem adubação obteve uma eficiência energética de 6,89 e relação saída/entrada energética de 7,89, para uma produtividade de 840 kg/ha de mamona e 500 kg/ha de gergelim. Para os autores, esse balanço positivo é benéfico do ponto de vista da produção de

biodiesel, pois credita a etapa industrial, favorecendo a sustentabilidade do biocombustível produzido.

Ainda no que diz respeito à eficiência energética, Beltrão e Oliveira (2008) apresentaram um estudo inovador que analisou a produção de energia e produtividade: *Ricinus communis* L. (mamona) x *Saccharum officinale* L. (cana-de-açúcar). Devido ao seu metabolismo, todas as oleaginosas que contêm pelo menos 15% de óleo nas sementes disponíveis atualmente para a produção de biodiesel precisam investir muita energia (adenosina tri-fosfato (ATP)) para produzir óleo. Já as plantas produtoras de açúcares, tais como amido e glicose (milho) e sacarose (cana-de-açúcar), de metabolismo diferente (C4), gastam muito menos energia.

O balanço energético dessas culturas (Tabela 4) deve ser bastante criterioso e considerar essas particularidades fisiológicas. A comparação entre as plantas oleaginosas não pode ser feita de maneira direta com as plantas produtoras de açúcar.

**Tabela 4**  
Balanço energético de algumas culturas utilizadas na produção de biocombustíveis

Cultura	Balanço energético
Canola	1,0 – 1,7
Mamona	1,3 – 2,9
Dendê	1,0 – 3,5
Cana-de-açúcar	5,0 – 8,0

Fonte: International Food Policy Research Institute (2008a *apud* SANTOS, 2009).  
Nota: Adaptado pelo autor.

Na comparação de produtividade econômica entre as plantas C3 (normalmente inibidas por temperatura e luminosidade elevadas, apresentando maior taxa fotossintética sob condições moderadas) e C4 (mais adaptadas à luz intensa e a altas temperaturas), oleaginosas e energéticas, respectivamente, deve-se levar o tempo de produção em consideração, quando a produtividade se expressa em kg/ha/tempo.

Em relação às emissões, no contexto de uma modificação do perfil de exportação de grãos e torta, o uso do biodiesel de soja só tem, comprovadamente,

como benefício ambiental a eliminação proporcional ao volume de mistura de enxofre lançado na atmosfera pelos motores diesel. Os volumes de sequestro de carbono permanecerão os mesmos, uma vez que se pressupõe que a área plantada não será alterada com a produção de biodiesel de soja. Essa rigidez produtiva não ocorre com a mamona, de acordo com Krohling e outros (2009). Tem-se, para a Bahia, que o aumento de 1% no preço defasado da mamona provoca um aumento da área cultivada em 0,69% (0,010% para o algodão e 0,0016% para a soja).

Mesmo que o biodiesel de soja seja mais competitivo com base no custo de produção ou no mercado internacional, sua produção apresenta externalidades ambientais e sociais negativas, que podem torná-la estrategicamente insustentável. Devem ser considerados os impactos ambientais de qualquer monocultura que representa a remoção de vegetação nativa em grandes áreas, perda de biodiversidade, uso intensivo de agrotóxicos e adubos químicos e intensa pressão sobre o solo, dentre outros. Segundo Oliveira e Sant'ana (2009), dentre os territórios de identidade que fazem parte dos pólos de biodiesel do Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA), as maiores áreas com lavouras permanentes e temporárias estão no Baixo Sul e em Irecê, que, naturalmente, já possui um ecossistema frágil, por estar no semiárido. Com a prevalência da agricultura empresarial na produção de oleaginosas, o Território Irecê pode ser um dos mais prejudicados com o desmatamento. Com um planejamento adequado, áreas desmatadas podem ser aproveitadas e áreas com pastagens degradadas remanejadas para a produção de oleaginosas sem perda da produção animal, com recuperação de solos, evitando ainda a expansão da fronteira agrícola com esses cultivos.

Os limites do Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) alinhados ao Projeto de Desenvolvimento Sustentável, quando forem definidos para

**O Território Irecê possui um dos maiores contingentes de pessoal ocupado na agricultura na categoria de propriedade familiar**

cada região, precisam ser obedecidos, aproveitando ao máximo os coprodutos, áreas degradadas e exploração de oleaginosas de alto conteúdo energético ainda não utilizadas. Deve ser observado ainda o balanço energético de cada sistema e respeitado o duplo imperativo de inviolabilidade da vegetação natural e de obrigação de garantir a segurança alimentar a todos, como assinala Sachs (2010).

A expansão do cultivo em larga escala de culturas para produção de energia pode ameaçar a segurança alimentar e tem efeitos indiretos e imprevistos na vida e propriedade de pessoas marginalizadas. Quanto menos culturas alimentares disponíveis e, ao mesmo tempo, mais demanda, maior probabilidade de os preços subirem. Como os preços dos alimentos aumentaram dramaticamente nos últimos anos, a ligação com os biocombustíveis é facilmente feita. No entanto, os preços dos alimentos têm aumentado em função das más colheitas, sistemas de produção ineficientes, baixa produtividade agrícola e elevação dos preços do petróleo. Por outro lado, Fresco (2007) sugere que a elevação dos preços dos alimentos pode indicar a importância da agricultura e estimular os investimentos necessários para tornar o setor mais eficiente, inclusive com a criação de sistemas integrados de produção de energia e alimentos.

O Território Irecê possui um dos maiores contingentes de pessoal ocupado na agricultura na categoria de propriedade familiar. Portanto, qualquer análise sobre alternativas de oleaginosas para o biodiesel neste território passa pelo nível de empregabilidade e ocupação familiar de cada cultura. O cultivo da mamoneira é realizado por agricultores familiares, que detêm mais de 80% da área plantada. Essa cultura ocupa a área de cultivo por um período que varia de oito a 24 meses. Sua colheita escalonada ocupa mão de obra por longos períodos e propicia aos produtores, com a venda das suas bagas, os recursos necessários para a compra de

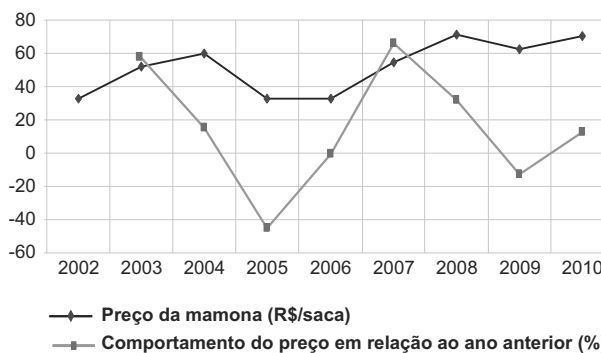
outros produtos de fundamental importância para sua sobrevivência (LOPES, 2010).

A agricultura familiar gera maior número de postos de trabalho que a agricultura empresarial. Por este motivo, qualquer política de caráter social deve priorizar este segmento. Na agricultura empresarial, em média, emprega-se um trabalhador para cada 100 hectares cultivados, enquanto que na familiar a relação é de apenas 10 hectares por trabalhador. No caso da mamona, a relação é de um agricultor para cada 10 a 15 hectares, somente na produção agrícola. Além disso, o impacto social positivo do investimento na agricultura familiar é alto. Cada R\$ 1,00 aplicado na agricultura familiar gera R\$ 2,13 adicionais na renda bruta anual, o que significa que a renda familiar dobraria com a participação no mercado de biodiesel (BRASIL, 2007). Diferentemente do que ocorre na agroindústria canavieira, por exemplo, em que há uma previsão de que o índice de ocupação (número de pessoas/100 hectares) passe de 9,63, em 2005/2006, para 1,59, em 2015. No Nordeste, a previsão é de 4,17, e no Centro-Sul, 1,2, segundo a Revista Alcoolbrás (AVALIAÇÃO..., 2007, p. 46).

Krohling e outros (2009), analisando a potencialidade baiana na produção de oleaginosas, revelaram a rigidez produtiva da agricultura empresarial. Ou seja, a pouca flexibilidade na escolha de um cultivo alternativo surge da inexistência de outro que seja tão rentável como a soja. Para os autores, a mamona não faz parte da relação de oleaginosas mais competitivas para a produção de biodiesel, em razão da sua baixa escala de produção e do preço do óleo relativamente alto, destinado a outros mercados.

Apoiada pelo PNPB, a mamona tem amplas perspectivas de expansão, especialmente no semiárido. A área plantada, a produtividade e a produção poderão aumentar consideravelmente com o acesso à tecnologia por parte dos agricultores. O PNPB está impulsionando a expansão da cultura não somente em regiões incentivadas para a produção de biodiesel. Observa-se no Gráfico 4 o reflexo das ações do PNPB sobre o comportamento dos preços da mamona. O fato é que as

cotações comprovam que os ganhos do agricultor aumentaram, seja como efeito direto e/ou como efeito indireto.



**Gráfico 4**  
Preço médio anual da saca de mamona em Irecê de 2002 a 2010 e crescimento/redução percentual em relação ao ano anterior

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da pesquisa.

Em 2008, o Território Irecê concentrou 63% da produção e 61% da área cultivada de mamona, mantendo, em média, 9,9 vezes mais pessoas ocupadas na categoria da propriedade familiar do que na categoria de propriedade patronal (INSTITUTO DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA; ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA AGRICULTURA E ALIMENTAÇÃO, 1996). Essa avaliação, associada à análise das dimensões do biodiesel a partir das quatro oleaginosas estudadas, levou à indicação de que a mamona e o girassol são mais apropriados para viabilizar o PNPB no Território Irecê. A recomendação (com base num modelo dinâmico de análise) da mamona e do girassol para o Território Irecê não significa a exclusão da soja e do algodão para outros territórios com realidades socioculturais, condições ambientais e características diferentes. A princípio, para o Oeste Baiano, algodão, soja e girassol seriam as culturas mais indicadas, nessa ordem.

O Território Irecê produziu, em 2008, 61.072 toneladas de mamona, com um crescimento de 101% em relação a 2007, correspondendo a 63% da produção baiana. O município que mais se destacou no ano de 2008 foi o de Cafarnaum, com uma produção de 19.800 toneladas e uma área

**Tabela 5**  
**Panorama da produção de mamona nas safras – 2007/2008**

Região	Safrá 2007			Safrá 2008		
	Área (ha)	Produção (t)	Rendimento (t/ha)	Área (ha)	Produção (t)	Rendimento (t/ha)
Brasil	163.034	98.142	0,60	157.626	122.140	0,77
Bahia	121.295	75.660	0,62	116.463	96.620	0,83
Território de Identidade Irecê	59.907	30.314	0,51	71.436	61.072	0,85

Fonte: IBGE/Sidra-PAM (2009).

Nota: Elaboração própria.

de 13.200 hectares cultivados, em sua maioria, nas pequenas unidades de produção familiar. As escalas de produção para sistemas que visem a um programa amplo de produção de biodiesel são forçosamente maiores.

A Bahia é o maior produtor nacional de mamona, com 79,11% da produção em 2008, concentrada no Território Irecê, que respondeu, no mesmo ano, por 45,32% da área e 50,00% da produção nacional. Verificou-se neste estudo que, de 2007 para 2008, enquanto o rendimento na Bahia e no Brasil cresceu 33,87% e 28,33, respectivamente, o crescimento no Território Irecê foi de 66,67%. O cenário mais conservador traçado por Carvalho (2009) baseia-se na taxa de crescimento anual da área plantada. No entanto, o crescimento da produtividade de 2007 para 2008 aponta para um cenário intermediário, que, evidentemente, só pode ser confirmado com uma série maior de informações. Os dados encontrados neste estudo (Tabela 5) divergem da projeção feita pelo autor para o período de 2008 a 2015. Ao contrário das 41.339 toneladas e do rendimento de 0,49 t/ha estimados pelo autor, verificou-se no Território Irecê uma produção de 61.072 t e 0,85 t/ha em 2008, respectivamente.

A área plantada projetada para o período de 2008 a 2015 daria para atender ao parque industrial instalado, desconsiderando sua possível ampliação. Para atender ao PNPB, ter-se-ia que incrementar a área plantada nos valores já mencionados e aumentar a produtividade em, pelo menos, 80%, ou seja, passar dos atuais 600 kg/ha para 1.080 kg/ha, o que, na verdade, não é uma meta impossível de ser alcançada.

Para atender ao B5, seriam necessários 167.000 ha, que, com um rendimento de 1.080 kg/ha, produziram 180.360 toneladas de baga, que resultariam em 99.198.000 litros de biodiesel. Seriam necessários mais 140.000 ha para atender à demanda do parque industrial instalado no estado, totalizando 307.000 ha. Essa demanda projetada é maior do que a previsão de cultivo em 2015, que é de 168.821 ha no ritmo de crescimento da área plantada no período 1990 a 2007. Considerou-se que 100% da demanda de óleo para o B5 seria atendida com a cultura da mamona, o que, na prática, não é verdadeiro, com base no que foi visto.

A produção de mamona no Território Irecê ocorre de forma dispersa em nível local, o que, aliada à desorganização na comercialização, permite uma forte atuação de atravessadores, conforme descrito no fluxograma da Figura 2. Os principais fatores relacionados à queda na área e na produção de mamona a partir de 1985/86 são:

- a) desorganização e inadequação de sistemas de produção;
- b) utilização de sementes impróprias;
- c) práticas culturais inadequadas;
- d) desorganização do mercado interno;
- e) baixos preços dos produtos agrícolas; e
- f) redução da oferta de crédito e assistência técnica.

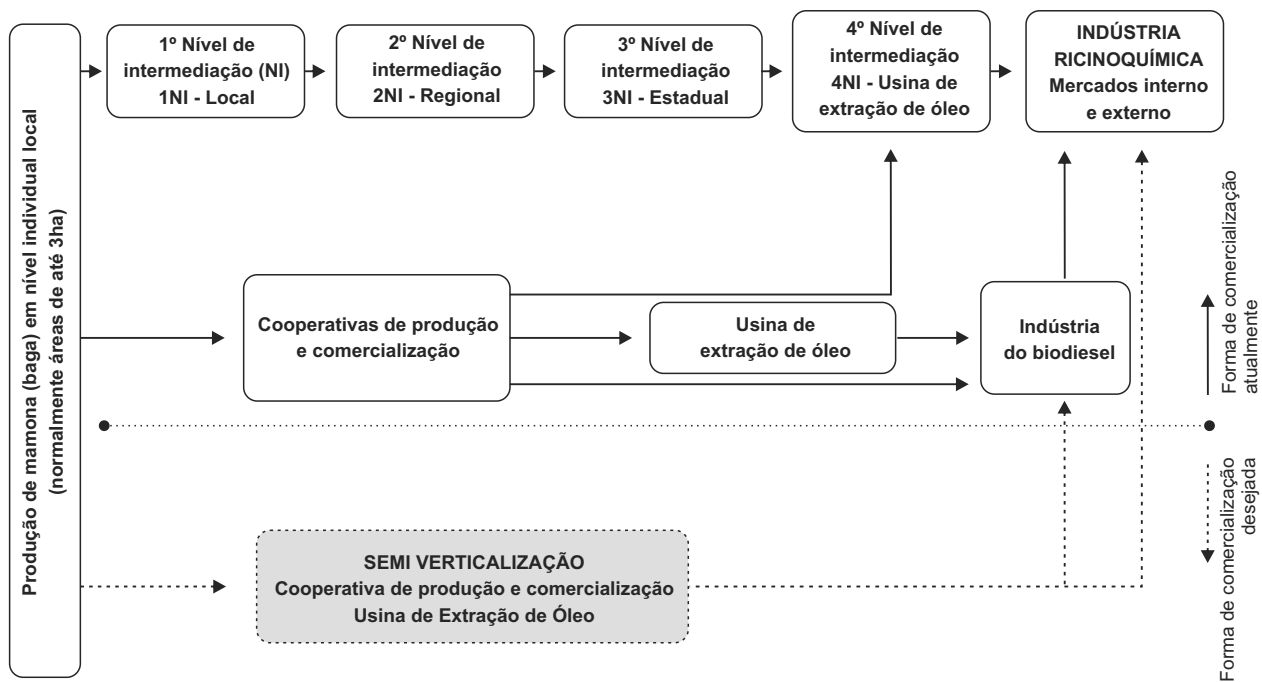
O conjunto das unidades de produção agrícola responsável pela produção individual se caracteriza como um arranjo produtivo local (APL) de mamona, ainda em construção. Os agricultores integram o elo produção agrícola de oleaginosa da cadeia de

produção do biodiesel e constituíram uma instância com as atribuições de coordenar as ações que visam desenvolver e manter a unidade do conjunto. O fluxograma da Figura 2 resume a análise feita nessa pesquisa da dinâmica de funcionamento dessa cadeia produtiva agroindustrial, identificados os agentes que dela participam direta e indiretamente.

A partir da Figura 2, constatou-se a presença de até quatro níveis de intermediação. Os intermediários, chamados de atravessadores, inibem a organização da produção, financiam antecipadamente, concentram a produção e controlam a distribuição e comercialização para as indústrias de extração de óleo. O Ministério da Integração Nacional (BRASIL, 2007) constatou que essa intermediação tem provocado a elevação do preço de 20% a 30%, inclusive no período de safra.

A literatura sobre a cadeia produtiva da mamona no Nordeste, quando menciona os sistemas de produção inadequados, práticas agrícolas tradicionais e utilização de sementes inadequadas, dentre outros fatores que contribuem para

o desempenho relativamente baixo da cultura no semiárido, refere-se, na maior parte das vezes, ao agricultor como responsável unilateral. Difícilmente se cita que é difícil produzir no semiárido em áreas que, em sua maioria, serviriam para dois animais bovinos e que são as únicas que os agricultores possuem para desenvolver todas as outras atividades. Hoje, na realidade, não há crédito de custeio para a mamona no Território Irecê por duas razões. Primeiro, parâmetros como o calendário agrícola que compõe a definição do zoneamento agrícola não condizem com a realidade do clima. Segundo, a mamona, cultivada por pequenos agricultores, não faz parte do complexo agroindustrial brasileiro e, portanto, não interessa aos agentes financeiros públicos, muito menos aos privados. Hoje, o agricultor só tem acesso a um pequeno crédito, via Pronaf tipo B (também chamado Pronaf Biodiesel), com valor baixíssimo e que não foi desenvolvido para esta finalidade. Além do mais, quantas instituições de ensino, pesquisa e extensão trabalharam com mamona



**Figura 2**  
Mercado da mamona no Território Irecê – 2010

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da pesquisa.

durante esses últimos 30-40 anos? Quantos engenheiros agrônomos foram formados para trabalhar com mamona e para assistir pequenos agricultores que vivem e trabalham numa dinâmica – não pior ou melhor – totalmente diferente da agricultura empresarial? Quando o assunto é soja, milho, café, cana, laranja, é diferente. Há cultivares em âmbito municipal, e os créditos e recursos tecnológicos disponíveis são infinitamente superiores.

Os resultados observados na cadeia produtiva no Território Irecê a partir da atuação do PNPB são positivos. A forma como está estruturada a comercialização no programa dá mais segurança e aumenta a confiança do agricultor. A entrada das cooperativas na produção e comercialização trouxe resultados positivos, com a eliminação de pelos menos três níveis de intermediação. No entanto, as cooperativas ainda vendem mamona em бага, deixando a maior parte do lucro para as usinas de extração de óleo e de biodiesel, que comercializam produtos de maior valor agregado. Portanto, o desafio é fazer com que parte desse lucro chegue até os agricultores, que estão no nível onde se concentra a maior parte do risco da cadeia produtiva: a produção.

## CONCLUSÕES

Para que o PNPB consolide o biodiesel como uma alternativa viável para complementar a matriz energética nacional e fomentar o desenvolvimento territorial por meio do fortalecimento de agricultura familiar, é preciso vislumbrar uma estratégia de desenvolvimento sustentável, agregando-se valores sociais, ambientais e econômicos.

Em bases sociais, ambientais, territoriais e econômicas, concluiu-se que a produção de biodiesel é viável a partir de óleos vegetais, que representam atualmente (acumulado de out/2008 a abr/2010) 82,18% das matérias-primas utilizadas pela indústria do biodiesel no Brasil. Para uma

maior inserção da agricultura familiar na cadeia produtiva do biodiesel, condizente com a proposta inicial do governo, seria preciso manter a participação da soja numa faixa menor do que os atuais 78,88%, o que implicaria maior participação de outras oleaginosas, observadas as condições de oferta, características regionais, aspectos técnicos, econômicos, sociais e ambientais. As reais dificuldades na utilização de algumas oleaginosas estão associadas à falta de informação e de uma política agroenergética regionalizada que priorize o uso de recursos naturais locais.

Para o estado da Bahia, é necessário que sejam estabelecidos os limites do Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) alinhados ao Projeto de Desenvolvimento Sustentável. Este planejamento precisa contemplar o aproveitamento de coprodutos em todas as etapas da cadeia produtiva do biodiesel, áreas degradadas e exploração de oleaginosas de alto conteúdo energético ainda não utilizadas. Deve ainda observar o balanço energético de cada sistema e respeitar o duplo imperativo de inviolabilidade da vegetação natural e da obrigação de garantir a segurança alimentar a todos.

Há uma forte inserção das políticas públicas para o biodiesel no Território Irecê, envolvendo, principalmente, as áreas de agricultura familiar, educação profissionalizante e ciência, tecnologia e inovação. De 2007 para 2008, houve uma queda de 5,20% na área e um aumento de 27,70% na produção de mamona na Bahia, enquanto no Território Irecê os incrementos foram de 19,24% e 101,46%, respectivamente, tornando a região responsável por 63% da produção e 61% da área estadual com a cultura. O preço médio anual da saca de mamona passou de R\$ 33,04 em 2002 para R\$ 70,14 em 2010 – média das cotações até 1/3/2010 –, reação direta e indireta aos estímulos dessas políticas no âmbito do PNPB. No entanto, os agricultores familiares do Território Irecê não estão inseridos nos níveis desejados na cadeia produtiva do biodiesel. Esperava-se que a agricultura familiar, que respondia por 90,86% das ocupações na agricultura no

território no ano de 1996, tivesse uma maior inserção na cadeia produtiva na área em estudo.

Constatou-se a presença de até quatro níveis de intermediação na cadeia produtiva da mamona, que provocam a inibição da organização da produção, o financiamento antecipado, a concentração da produção e o controle da distribuição e comercialização para as indústrias de extração de óleo. Esta intermediação tem causado a elevação do preço da mamona de 20% a 30%, inclusive no período de safra. A entrada das cooperativas na produção e comercialização eliminou, pelo menos, três níveis de intermediação. No entanto, as cooperativas ainda vendem mamona em baga, deixando a maior parte do lucro para as usinas de extração de óleo e de produção de biodiesel.

Dentre as oleaginosas analisadas para fornecimento pela agricultura familiar para produção de biodiesel no âmbito do PNPB, a soja é a menos competitiva no Nordeste, e o biodiesel de algodão, o mais barato. Para que a mamona fosse tão competitiva quanto o algodão, partindo-se somente do seu custo de produção, seria necessária uma produtividade de 2.500 kg/ha ou que o preço de mercado da saca de 60 kg de baga fosse obtido a R\$ 12,35. Por outro lado, o biodiesel de mamona gera 8,72 mais empregos do que o da soja, e a ocupação da terra com a mamona é 10 vezes maior do que na sojicultura. A mamona é a cultura temporária de sequeiro mais rentável para o Território Irecê e, em consórcio, possui margem de lucro de R\$ 771,00/ha. O girassol fica em R\$ 732,00/ha. Os empregos relacionados a partir da rota da mamona possuem remuneração que corresponde a 26,3% daquela a partir da rota da soja.

A análise das dimensões da sustentabilidade do biodiesel a partir das oleaginosas estudadas permitiu concluir que a mamona, seguida pelo girassol, é a oleaginosa mais recomendada para fornecimento pela agricultura familiar para viabilizar o PNPB no Território Irecê na atual conjuntura. Além de uma política agrícola adequada que priorize a agricultura familiar, faz-se necessário ajustar uma tecnologia

para a mamona que condicione o seu rendimento e sua manutenção no longo prazo. Assim, haveria a possibilidade de manter os custos totais em níveis baixos, fazendo com que os seus coprodutos tivessem interesse econômico, o que contribuiria para compensar os custos operativos.

## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. *Biocombustíveis*. [Brasília] ANP, 2011. Disponível em: < <http://www.anp.gov.br/?id=472>>. Acesso em: 5 nov. 2011.
- ALBUQUERQUE, F. A. et al. Análise energética do consórcio mamona com amendoim. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 3., 2008a, Salvador. *Anais...* Salvador: Embrapa Algodão, 2008.
- ALBUQUERQUE, F. A. et al. Análise energética do sistema de cultivo da mamoneira consorciada com gergelim. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 3., 2008, Salvador. *Anais...* Salvador: Embrapa Algodão, 2008b.
- ALBUQUERQUE, F. A. et al. Eficiência energética do sistema de cultivo da mamoneira consorciada com feijão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 3., 2008, Salvador. *Anais...* Salvador: Embrapa Algodão, 2008c.
- AVALIAÇÃO da ocupação na agroindústria canaveira. *Revista Alcoolbrás*, São Paulo, n.114, p.46, 2007.
- AZEVEDO, D. M. P.; BELTRÃO, N. E. M.; SEVERINO, L. S. Manejo cultural. In: AZEVEDO, D. M. P.; BELTRÃO, N. E. M. *O agronegócio da mamona no Brasil*. 2.ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. 504 p.
- BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL 2009: ano base 2008. Rio de Janeiro: EPE, 2009. Disponível em: [http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/publicacoes/BEN/2\\_-\\_BEN\\_-\\_Ano\\_Base/1\\_-\\_BEN\\_2009\\_Portugues\\_-\\_Inglxs\\_-\\_Completo.pdf](http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/publicacoes/BEN/2_-_BEN_-_Ano_Base/1_-_BEN_2009_Portugues_-_Inglxs_-_Completo.pdf). Acesso em: maio 2010.
- BARROS, G. S. C. et al. Economia custos de produção do biodiesel no Brasil. *Revista de Política Agrícola*, Brasília, v. 15, n.3, jul./set. 2006.
- BELTRÃO, N. E. et al. *Mamona: árvore do conhecimento e sistemas de produção para o Semi-Árido brasileiro*. Campina Grande: EMBRAPA – CNPA, 2003. 19p. (EMBRAPA – CNPA, Circular Técnica, 70).
- BELTRÃO, N. E. M.; OLIVEIRA, M. I. P. Produção de energia e produtividade: *Ricinus communis* L. x *Saccharum officinale* L. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 3., 2008, Salvador. *Anais...* Salvador: Embrapa Algodão, 2008.



BELTRÃO, Napoleão Esberard de Macedo et al. *Recomendação técnica sobre o plantio de pinhão manso no Brasil*. [Brasília]: EMBRAPA, 2010. Disponível em: <<http://www.cpa0.embrapa.br/portal/noticias/Position%20Paper.pdf>>. Acesso em: 19 fev. 2010.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Projeto de cooperação técnica BRA/IICA-00/001-INTEGRAÇÃO/MI. *Descrição e diagnóstico de um Arranjo Produtivo Local (APL) integrante da cadeia produtiva do biodiesel típico da região Nordeste*. Brasília, DF: MIN, 2007. Relatório Técnico.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia Resolução do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) nº 6, de 16 setembro de 2009. Estabelece em cinco por cento, em volume, o percentual mínimo obrigatório de adição de biodiesel ao óleo diesel comercializado ao consumidor final, de acordo com o disposto no art. 2º da Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005. *Diário Oficial [da República Federativa do Brasil]*, Brasília, DF, 25 out. 2009. Disponível em: <<http://www.in.gov.br/imprensa/visualiza/index.jsp?data=26/10/2009&jornal=1&pagina=99&totalArquivos=120>> Acesso em: maio 2010.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Agrário. *Análise da cadeia de produção de óleo vegetal no Território Irecê – BA*. Viçosa, MG: UFV, 2007. Relatório Técnico. Projeto Biodiesel - Convênio UFV/MDA.

CARTAXO, W. V. et al. *UTD/escola de campo: estratégia para a organização da cadeia produtiva do biodiesel de mamona no Polo de Pesqueira, PE*. Campina Grande: CNPA, 2007.

CARVALHO, B. C. L. *Situação atual da cultura da mamona no estado da Bahia e perspectivas para a produção de biodiesel*. Salvador, BA2009. Relatório Técnico.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. *Amendoim BR-1 - informações para seu cultivo*. Campina Grande, PB: EMBRAPA, 2006a. 1 folder.

\_\_\_\_\_. *Consórcio mamona+amendoim*, Campina Grande, PB: EMBRAPA, 2006b. 1 folder.

\_\_\_\_\_. *Sistemas de produção*. Campina Grande: EMBRAPA/CNPA, 2003. Versão eletrônica. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Algodao/AlgodaoIrrigado/autores.htm>>. Acesso em: 19 fev. 2010.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. *Tecnologias de produção de soja – região central do Brasil – 2009 e 2010*. Londrina: Embrapa Soja, 2003. (Sistemas de produção, 13). Disponível em: <<http://www.cnpso.embrapa.br/download/Tecnol2009.pdf>>. Acesso em: 19 fev. 2010.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412 p.

FRESCO, L. O. *Biomass, food and sustainability, is there a dilemma?* Amsterdam: Rabobank Report, 2007.

GAZZONI, D. L.; FELICI, P. H. N.; CORONATO, R. M. S. Balanço energético das culturas de soja e girassol para produção de biodiesel. *Revista Biodiesel*, São Paulo, p.26–28, maio 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Produção Agrícola Municipal (PAM)*. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/acervo/acervo1.asp?e=v&t=1&p=PA&z=t&o=3>>. Acesso em: 10 maio. 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Produção Agrícola Municipal (PAM)*. Rio de Janeiro: IBGE, 2008. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 18 ago. 2008.

INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA – INCRA; ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA AGRICULTURA E ALIMENTAÇÃO - FAO. *Perfil da agricultura familiar no Brasil*: dossiê estatístico. Brasília, 1996.

KROHLING, V. B. et al. O biodiesel na Bahia: uma análise da potencialidade baiana na produção de oleaginosas. *Bahia Análise & Dados: biocombustíveis: potencialidades e restrições*, Salvador, v. 18, n. 4, p. 659-669, jan./mar. 2009.

LEITE, R. M. V. B. C.; CASTRO, C.; SMIDERLE, O. J. Girassol: mais uma opção para os biocombustíveis. *Revista Biodiesel*, São Paulo, p. 17–18, maio 2007.

LEITE, R. C. C.; CUNHA, M. P. Impactos socioeconômicos da produção de biodiesel no Brasil: uma comparação das rotas a partir da soja e da mamona. In: CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DO BIODIESEL, 3., 2009, Brasília. *Anais...* Brasília: RBTB, 2009.

LOARIE, S. R. et al. Direct impacts on local climate of sugarcane expansion in Brazil. *Nature Climate Change*, v. 1, n. 3, p. 105-109, May 2011.

LOPES, J. S. *Análise de culturas energéticas oleaginosas para produção de biodiesel no Território Irecê no semi-árido baiano*. 2010. 150 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Salvador, Salvador, 2010.

OLIVEIRA, G. G.; SANT'ANA, M. I. *Levantamento de informações disponíveis sobre a cadeia produtiva de biodiesel no Estado da Bahia: aspectos agrônômicos, da agricultura familiar e da cadeia produtiva*. Salvador, 2009. Projeto de cooperação técnica estado da Bahia/OIT - Relatório Técnico.

REDE BAIANA DE BIOCMBUSTÍVEIS. *BAHIABIO*. [Salvador], 2009. Disponível em: <<http://www.rbb.ba.gov.br>>. Acesso em: 14 out. 2009.

SACHS, I. *A expansão da agroenergia e seus impactos sobre os ecossistemas brasileiros*. Disponível em: <[http://www.fbds.org.br/Apresentacoes/4\\_integracao\\_Agric\\_Fam\\_I\\_Sachs.pdf](http://www.fbds.org.br/Apresentacoes/4_integracao_Agric_Fam_I_Sachs.pdf)>. Acesso em: 5 maio 2010.

SANTOS, G. J. et al. Agrocombustíveis, segurança e soberania alimentar: elementos do debate internacional e análise do caso brasileiro. *Bahia Análise & Dados*: biocombustíveis: potencialidades e restrições, Salvador, v. 18, n. 4, p.549-556, jan./mar. 2009.

VIANNA, J. N. S. et al. *A produção de biodiesel no Brasil: a contribuição da soja e de outras oleaginosas*. [S. l.]: [s. n.], [2006].

WORLD WILDLIFE FUND (WWF). *O impacto do mercado mundial de biocombustíveis na expansão da agricultura brasileira e suas conseqüências para as mudanças climáticas*. Brasília: Allianz Brasil, 2009.

Artigo recebido em 31 de agosto de 2011  
e aprovado em 30 de setembro de 2011.

# Mitigação por microalgas do CO<sub>2</sub> gerado em termelétricas: uma revisão da capacidade de biofixação e formação de biomassa e óleo para biocombustíveis<sup>1</sup>

*Iracema Andrade Nascimento\**

\* Pós-doutora pela Institute Of Applied Sciences University Of North Texas, USA; pós-doutora pela TEXAS A&M University, Corpus Christi, USA; doutora e mestre em Biologia pela Universidade de São Paulo; graduada em Ciências Biológicas pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Professora titular da UFBA, atuando no NP do Programa de PG em Ecologia e Biomonitoramento (Instituto de Biologia UFBA) e no Programa de Doutorado da Renorbio. toiracema@gmail.com

## Resumo

Duas prioridades mundiais e interdependentes preocupam a humanidade neste século: o atendimento ao aumento da demanda energética e a sustentabilidade do planeta, pela redução das emissões de CO<sub>2</sub> e de outros gases de efeito estufa. A revisão envolve a questão da produção de energia em termelétricas e as possibilidades de sequestro por biofixação do CO<sub>2</sub> produzido, por microalgas, em cultivos associados a estas indústrias de energia. A revisão foca a Bahia, onde uma ampliação considerável de termelétricas a óleo combustível é prevista para funcionamento em 2013. Em face da estimativa de liberação de grande quantidade de CO<sub>2</sub> por estas indústrias, e da capacidade de biofixação pelas microalgas, o trabalho discute os tipos e volumes de cultivos que propiciariam a minimização de CO<sub>2</sub> atmosférico, viabilizando empresas ecocompatíveis.

**Palavras-chave:** Energia. Termelétricas na Bahia. Biofixação do CO<sub>2</sub>. Microalgas. Biocombustíveis.

## Abstract

*Two interdependent and global priorities are of concern to humanity in this century: meeting the increasing energy demand and guaranteeing the planet's sustainability by reducing CO<sub>2</sub> and other greenhouse gas emissions. The present work discusses the possibility of CO<sub>2</sub> fixation by microalgae, cultivated in association with the processes of energy production in power plants, as one alternative for mitigating the generated GEE. The review focuses on Bahia, where a considerable increase of fuel-oil power plants is scheduled to go into operation by 2013. Given the estimated release of large amounts of CO<sub>2</sub> by these industries, the paper discusses, in view of the biofixation capacity of microalgae, the necessary volumes and types of microalgae cultivation systems that would allow the biofixation of atmospheric CO<sub>2</sub> and increase the viability of eco-compatible companies.*

**Keywords:** Energy. Power plants in Bahia. CO<sub>2</sub> biofixation. Microalgae. Biofuels.

<sup>1</sup> N. do E.: Participaram da elaboração deste artigo Jacson Nunes dos Santos, Maurício A. Nascimento e Paulo Almeida, da Universidade Federal da Bahia (UFBA).

## INTRODUÇÃO

### Energia e efeito estufa: a busca de sustentabilidade

A redução das emissões de CO<sub>2</sub> e de outros gases causadores do efeito estufa (GEE) é uma das prioridades mundiais para a sustentabilidade do planeta. O relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (INTERGOVERNMENTAL PANEL OF CLIMATE CHANGE, 2007) é claro ao indicar que os níveis atuais de CO<sub>2</sub> atmosférico (acima de 380 ppm) atingiram o patamar de perigo. Ações antropogênicas foram apontadas como participantes na elevação dos níveis de GEE e, como consequência, no aumento de meio grau Celsius na temperatura média da superfície do planeta, como observado nos últimos 120 anos. Prevê-se que, até o início do próximo século, esse aumento poderá chegar até três graus Celsius. Nestas circunstâncias, as previsões de desastres, tanto ambientais, como econômicas, são catastróficas. O relatório *The Economics of Climate Change* (STERN, 2006) mostra que este grau de aquecimento global pode levar a perdas permanentes anuais de até 3% do PIB mundial, equivalentes a US\$ 1,32 trilhão. Estas previsões estão levando as nações a estabelecerem níveis de redução de emissões de CO<sub>2</sub> na faixa de 10% a 20%, até 2020. Entretanto, estimativas apontam que, mesmo alcançando este propósito, os níveis deste gás na atmosfera poderão não estar estabilizados em valores aceitáveis (445-490 ppm), capazes de evitar desastres ambientais mais danosos, para o que seria necessária uma redução, até 2020, em torno de 60% sobre os valores previstos de liberação. O desenvolvimento de tecnologias CO<sub>2</sub>-neutras e ainda com capacidade de sequestro do CO<sub>2</sub> preexistente é reconhecido como um dos mais urgentes desafios para a humanidade neste século (HUNTLEY; REDALJE, 2007).

Como medida política de minimização de GEE, em nível global, criou-se o Protocolo de Quioto, que entrou em vigor em 16 de fevereiro de 2005. O

Brasil não foi signatário do protocolo, mas submeteu a proposta de criação de um fundo de desenvolvimento limpo, a ser alimentado por multas por excesso de emissões dos países industrializados e utilizado para financiar a introdução de novas tecnologias que permitissem um processo de desenvolvimento mais limpo nos demais países. Embora com modificações, este elemento da proposta brasileira foi incluído no Protocolo de Quioto. Assim, em um de seus artigos, o protocolo prevê a criação de um mecanismo de desenvolvimento limpo, pelo qual serão emitidos certificados internacionais de redução de emissões, em atividades de projeto individuais, os quais poderão ser usados pelos países industrializados para demonstrar o cumprimento de suas metas de redução de emissões. No Brasil, pelo Decreto presidencial nº 6.263/2007, foi criado o Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima (CIM), com a função de elaborar a política e o Plano Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC). O Projeto de Lei 3535, apresentado ao Congresso Nacional em 2008, define esta política. Seu conteúdo aproxima os anseios da comunidade científica e das organizações da sociedade civil na formulação das políticas públicas que orientarão o desenvolvimento sustentável do Brasil. Neste plano, estratégias incluídas no mecanismo de desenvolvimento limpo envolvem propostas de plantio de árvores (florestamento/reflorestamento) para a biofixação do CO<sub>2</sub>. Ocorre que o preparo do solo para o plantio libera o carbono fixado ao nível do solo para a atmosfera, o que pode anular o efeito benéfico da absorção e incorporação do CO<sub>2</sub> à biomassa das plantas (RHIGHELATO; SPRACKLEN, 2007). O presente trabalho sugere um caminho mais seguro e viável, envolvendo o cultivo de microalgas, para uma maior eficiência de biofixação de GEE, perspectiva de sustentabilidade que oferece a alternativa de transformar restos em oportunidades.

As previsões do Intergovernmental Panel of Climate Change (2007), projetando a concentração atmosférica do dióxido de carbono como capaz de ultrapassar, até 2056, o dobro do valor pré-Revolução

Industrial (560 ppm, equivalentes a cerca de 1,2 trilhão de toneladas de carbono no ar), poderão não se concretizar. Espera-se que a ingerência política e o desenvolvimento tecnológico sejam capazes de minorar a notória ineficiência do sistema energético mundial, de modo a manter as emissões globais dentro de níveis aceitáveis (450 ppm), para evitar impactos ambientais desastrosos. Entretanto, como a demanda de energia aumenta com o crescimento econômico, é possível que as emissões de carbono continuem a crescer, mesmo que o desenvolvimento tecnológico promova a introdução de veículos, edifícios e equipamentos energeticamente eficientes. A opção sugerida pelo presente trabalho é minimizar a liberação na atmosfera do CO<sub>2</sub> gerado nas termelétricas, rejeitando a conceituação atual do gás de fumeiro como resto industrial e atuando à semelhança dos sistemas biológicos, nos quais restos de um processo são usados por outros, como insumos na produção, o que caracterizaria as ecoindústrias (GRAEDEL; ALLENBY, 2002), por utilizarem um mecanismo de desenvolvimento limpo.

Outro desafio mundial neste século, estreitamente relacionado ao aquecimento global, é o atendimento à crescente demanda energética (57% maior que a atual, até 2025), diante da perspectiva de um menor suprimento de petróleo (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2007). O mercado global de energia pode ser dividido em dois setores, ambos devendo atingir metas de redução de emissões. Enquanto o setor de eletricidade (33% da demanda global de energia) conseguiu desenvolver tecnologias de baixa emissão de CO<sub>2</sub> (energia nuclear, solar, eólica, hidrelétrica, geotérmica), o setor de combustíveis (representando cerca de 67% da demanda) segue baseado em tecnologias de primeira geração (produção de biocombustíveis a partir do óleo de culturas terrestres ou de vegetais ricos em carboidratos). Estas tecnologias são pouco eficientes em termos de conversão energética,

exigindo grandes quantidades de água, de matéria-prima e, conseqüentemente, grande extensão de culturas, o que pode gerar problemas ambientais, dentre os quais poluição das águas e perdas de biodiversidade, assim como problemas sociais e econômicos (DOORNBOSCH; STEENBLIK, 2007; OECD; FAO, 2009).

**A matriz energética mundial ainda é majoritariamente (em cerca de 80%) fóssil e importante contribuinte para o aumento de gases de efeito estufa (GEE)**

**Cenário atual no setor de eletricidade**

A matriz energética mundial ainda é majoritariamente (em cerca de 80%) fóssil e importante contribuinte para o aumento de gases de efeito estufa (GEE). Dentre as fontes de energia fóssil, o carvão mineral contribui com aproximadamente 22% (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2007), o que é particularmente preocupante, já que sua queima produz mais CO<sub>2</sub> por unidade de eletricidade gerada que a queima de óleo ou de gás natural. Apesar da melhoria tecnológica que eliminou grande parte dos problemas ambientais resultantes das termelétricas a carvão, a queima deste combustível fóssil no mundo tem continuamente liberado na atmosfera, nesta última década, cerca de 10 bilhões de toneladas de CO<sub>2</sub>/ano (KADAM, 2002; XAVIER, 2004). As estimativas de aumento do uso do carvão em nível mundial não são apenas decorrentes das reservas existentes, mas da crescente demanda de energia em contraposição às restrições de outras fontes fósseis. Em relação ao petróleo, o carvão é barato e permanecerá abundante em nível mundial, mesmo que seu uso esteja sendo ampliado, especialmente em áreas com recursos carboníferos abundantes, como China e Estados Unidos, onde o carvão mineral representa mais de 50% da geração de eletricidade.

As emissões das termelétricas variam de acordo com o combustível utilizado, com o volume queimado, além da tecnologia utilizada. Termelétricas podem produzir energia elétrica a partir de carvão, óleo combustível, gás natural ou biomassa. Assume-se

(INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2008) que são liberados, respectivamente, com o uso de carvão, do óleo fóssil ou do gás natural, 0,91; 0,75 e 0,56 kg de CO<sub>2</sub>/MJ. Dentre estas opções, o óleo pesado derivado de petróleo (B1) e o carvão são as mais danosas ao meio ambiente, por gerarem, além de CO<sub>2</sub> em maior quantidade, outros gases promotores de chuva ácida (NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>) e de poluentes secundários (peroxiacil nitrato e ozônio) formados na atmosfera a partir das reações dos óxidos de nitrogênio (XAVIER, 2004). No Brasil, o uso do carvão equivale a apenas 1,4% da matriz energética e 6,5% da potência de geração termelétrica (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2011). Apesar das grandes reservas (cerca de 32 bilhões de toneladas), o carvão brasileiro é de baixo teor energético e de difícil acesso (entre 400 m e 800 m de profundidade), o que implica significativos investimentos, capazes de dificultar competitivamente, e em curto prazo, sua exploração. Mesmo assim, o Ministério de Minas e Energia (BRASIL, 2007) incluiu em seu plano decenal um total de 21 terawatts-hora (TWh), a serem gerados até 2012. A perspectiva para 2030 é que a potência de geração elétrica com base no carvão seja de 6.000 MW (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2011), considerando que o carvão é mais viável do que o óleo diesel, que, em 2008, representava 15% da potência de geração termelétrica no Brasil. O aumento previsto do uso do carvão como fonte energética vai exigir maior eficiência das tecnologias de sequestro e/ou captura do CO<sub>2</sub>, inclusive no Brasil, que agrega 45% de energia renovável em sua matriz energética. Estimativas da demanda energética no Brasil indicam um crescimento médio de 2% ao ano, até 2025. Mesmo que tecnicamente se aponte uma intensificação das matrizes nuclear e termelétrica a carvão, neste cenário, existe uma clara tendência de aumento de energia de biomassa renovável (ANUÁRIO ESTATÍSTICO BRASILEIRO DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS, 2010).

**Estimativas da demanda energética no Brasil indicam um crescimento médio de 2% ao ano, até 2025**

**Presente cenário no setor de transportes**

O setor de transportes, responsável por cerca de 67% do consumo energético mundial, ainda é dependente de combustíveis fósseis, geradores de cerca de 98% das emissões de carbono (DEMIRBAS; DEMIRBAS, 2009). Como uma das alternativas energéticas

para este setor, a produção e uso de biocombustíveis já é uma realidade em muitos países. Eles emergem como substitutos mais ecocompatíveis que combustíveis fósseis, por serem renováveis e ambientalmente menos poluentes. A continuidade deste crédito, entretanto, dependerá de como são produzidos, usados e comercializados, o que determinará o seu real impacto econômico, ambiental e social. Os biocombustíveis, como fontes renováveis de energia, diminuem a preocupante dependência do petróleo, podem reanimar a economia rural e, sobretudo, reduzir a quantidade cada vez maior de CO<sub>2</sub> na atmosfera, o que é defendido como seu lado benéfico. Em contraponto, as tecnologias de primeira geração atualmente utilizadas para a produção de biocombustíveis, por exigirem ampliação das monoculturas em terras agriculturáveis, podem gerar problemas ambientais e socioeconômicos ainda não devidamente avaliados em países em desenvolvimento (OECD; FAO, 2009).

O suprimento no setor de transportes aponta para dois combustíveis oxigenados (álcool e biodiesel) como parciais substitutos de produtos do petróleo, devido a suas propriedades e características ambientais menos agressivas no que tange às emissões tóxicas, contribuintes para o aumento do efeito estufa (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2011). O Brasil ocupa a segunda posição mundial como produtor de etanol (28 bilhões de litros em 2010) e, em 2010, passou também a ocupar a segunda posição no ranking dos países produtores de biodiesel (ANUÁRIO ESTATÍSTICO BRASILEIRO DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E

BIOCOMBUSTÍVEIS, 2010). O etanol produzido no Brasil a partir da cana é indicado como tendo, dentre todos os biocombustíveis, o menor custo de produção e a maior eficiência energética (1:8-10). Evita, em relação à gasolina, um mínimo de 56% na produção de CO<sub>2</sub>, se a mesma quantidade for queimada em motores. A cogeração nas usinas está originando créditos de carbono e a produção de mais de 3.700 MW (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2011). O total de energia proveniente da cana-de-açúcar representa 16% da matriz energética no Brasil. No que tange ao biodiesel, a capacidade instalada no Brasil é atualmente de 5,037 bilhões de l/ano, capaz de atender a uma substituição parcial do diesel em 5%, conforme autorizado desde 2010 pelo Conselho Nacional de Política Energética. A substituição do diesel por biodiesel, apesar de seu mais alto custo de produção, é atrativa, considerando-se o fato de ser uma fonte renovável de energia e de permitir a redução da dependência brasileira de importação do diesel (ANUÁRIO ESTATÍSTICO BRASILEIRO DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS, 2010).

Se garantidas a segurança de regulação do setor, o escoamento da produção e as possibilidades futuras de exportação, as previsões de aumento dos biocombustíveis, baseadas na grande diversidade de matérias-primas e das condições edafoclimáticas brasileiras, são amplas, mas limitadas à disponibilidade, sem riscos ambientais, das áreas de plantio. Considerando a soja como matéria-prima para a produção de biodiesel, foi estimada (BAÑADOS PÉREZ, 2007), para a substituição de todo o diesel utilizado em transporte no Brasil, uma ampliação em 63 milhões de ha da área atualmente plantada com oleaginosas. Seria perigosa tal ampliação dos cultivos no Cerrado, uma das 25 áreas do mundo consideradas fundamentais para a conservação da biodiversidade. O bioma Caatinga, que poderia ser utilizado com culturas de baixa exigência de água,

**O total de energia proveniente da cana-de-açúcar representa 16% da matriz energética no Brasil**

também requereria cuidados, por ser o único exclusivamente brasileiro, o que significa que o patrimônio biológico da região não é encontrado em outro lugar do mundo. Cerca de 48% desse bioma já foi transformado em deserto por ações do homem. O uso destas áreas desérticas com plantas requereria tratamentos caros, mas haveria a possibilidade, em terras áridas, de se utilizarem reservas de água subterrânea, mesmo salinizadas, para o crescimento de microalgas, para biofixação de GEE e produção de biomassa. Por outro lado, as florestas brasileiras se constituem em patrimônio da humanidade, e 80% da Mata Atlântica e mais de 20% da Amazônia já foram desmatadas para pastagens e outros usos (BRASIL, 2010). Nestes casos, a reconstituição das florestas devastadas seria mais eficiente que a plantação de novas culturas oleaginosas (RHIGHELATO; SPRACKLEN, 2007).

Em relação ao etanol, a expansão territorial de cana promoveu em 2010 a colheita de 580 milhões de toneladas, cultivadas em 8,1 milhões de ha, o que gerou a produção de 28 bilhões de litros de etanol. Projeta-se (MACEDO; SEABRA; SILVA, 2008) para 2014-2015 uma ampliação da área plantada, chegando-se a 12,2 milhões de ha, que poderão propiciar uma colheita de 902,8 milhões de t/ano (produtividade de 74 t/ha), o que deverá resultar em um aumento da produção de etanol para cerca de 36 bilhões de litros. Com base na média de processamento das indústrias sucroalcooleiras (2,0 milhões t/ano em ciclo de produção máxima de seis meses, 50%:50% de açúcar e álcool), são gerados 20 m<sup>3</sup> de etanol/h, que liberam na atmosfera 16 toneladas de CO<sub>2</sub>/h. O reaproveitamento deste CO<sub>2</sub>, cuja tendência é de aumento pela expansão das indústrias sucroalcooleiras, é imprescindível, se realmente se busca um produto CO<sub>2</sub>-neutro. A quantidade de CO<sub>2</sub> gerado pelas indústrias sucroalcooleiras poderia prover, em média, 100 kg de biomassa de microalgas/dia, em uma estrutura de 400 ha de tanques abertos, utilizando-se cepas

locais, capazes de uma produção mínima de 70 t/ha/ano (NASCIMENTO *et al.*, 2011).

Estimativa feita para se verificar a viabilidade de se ampliar a cultura da cana e de se produzir 8-10 vezes mais etanol, para substituir em 10%, toda a gasolina usada no mundo, até 2025, mostrou a alternativa como possivelmente inviável no país, usando-se tecnologias de primeira geração. Para atender a esta demanda, as lavouras de cana deveriam cobrir uma área dez vezes maior que a atual, o que seria dificultado devido à extensão das áreas protegidas no Brasil (cerca de 420 milhões de ha, equivalentes a mais da metade da área do país – 851 milhões de ha), somadas às áreas já ocupadas com cultivos de alimentos (360 milhões de ha) e à inadequação da maioria (75,6 milhões de ha) das áreas disponíveis para as culturas de cana-de-açúcar (Figura 1). Apesar disso, há indicações (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2010) de disponibilidade de 90 milhões de ha de áreas degradadas ou de pastagens, para estender as plantações de culturas para biocombustíveis. Considerando esta afirmação como viável, os riscos seriam: 1- uso inadequado de fertilizantes e pesticidas, que, ao serem lixiviados, causariam poluição nos corpos de água; 2- para cada quilo de grãos oleaginosos produzidos, são necessários 2 m<sup>3</sup> de água. Poderia haver depleção dos recursos aquáticos, mesmo se considerarmos que o Brasil tem 14% da água do mundo (a maior parte na Amazônia); 3- erosão e assoreamento de rios, pelo uso de práticas agrícolas inadequadas; 4- perda de biodiversidade, pela alteração de ecossistemas; 5- retorno do carbono mantido no solo ao nível das raízes por alterações de uso do solo, que, além do CO<sub>2</sub>, liberam também gases nitrogenados, intensificando o efeito estufa.

Apesar de que não esteja clara no país a existência de uma competição “biocombustível/alimento”, com o avanço das culturas para

biocombustíveis (ocupando atualmente cerca de 3% das áreas agrícolas) e de trocas no uso de terras férteis, poderia haver, segundo Reijnders (2009), liberação de CO<sub>2</sub> em níveis não compensados pela queima de renováveis como etanol ou biodiesel. Culturas para bioenergia reduzem o CO<sub>2</sub> atmosférico por biofixação, durante a fotossíntese, mas alterações no uso da terra fazem o carbono retornar ao ar. Mundialmente, o solo contém mais carbono (1.500 Gt) do que a atmosfera (720 Gt de CO<sub>2</sub>) e a vegetação (600 Gt) juntas. Assim, alterações relativamente pequenas no uso da terra têm importante efeito em escala global, de modo que o retorno à atmosfera do carbono do solo pode cancelar os benefícios do sequestro de CO<sub>2</sub> pelas culturas de óleo (ALTIERI, 2009). As queimadas, para um novo uso da terra ou para as colheitas, são responsáveis por, aproximadamente, 70% das emissões brasileiras e geram mais GEE do que a atividade industrial brasileira. Dados recentes são indicativos de que, apesar dos esforços governamentais e do programa de biocombustíveis, considerado o mais bem sucedido programa mundial de redução de gases de efeito estufa, este problema segue colocando o Brasil em uma posição relativamente alta no cenário mundial como país gerador de GEE (BRASIL, 2010). Além das queimadas, outros desafios a serem enfrentados no país em termos de mitigação são:

- (i) o uso racional e eficiente de recursos naturais, levando a um crescimento econômico e social com o menor impacto ambiental possível, seguindo estratégias que reduzem o desmatamento em todos os biomas;
- (ii) o aumento, dentro dos padrões de sustentabilidade, da participação de fontes de energia renovável na matriz energética;
- (iii) o desenvolvimento dos setores econômicos com a melhoria dos processos de minimização da liberação de carbono,





**Figura 1**  
Ocupação de áreas no Brasil e potencial para a cana

Fonte: IBGE, 2011.

aliados à biofixação do que é produzido, explorando-se a mais eficiente capacidade de sequestro do CO<sub>2</sub> por microorganismos fotossintetizantes, como as microalgas.

As estimativas da área terrestre global a ser convertida em culturas como resultado da expansão dos biocombustíveis projetaram cenários incertos (ALTIERI, 2009; BENEMANN, 1997; BENEMANN *et al.*, 2003, OECD; FAO, 2009; RHIGHELATO; SPRACKLEN, 2007). Mas a maioria deles associa a produção de biomassa para biocombustíveis, usando tecnologias de primeira geração, com limitações ambientais e econômicas que, na prática, anulam a

maioria dos benefícios decorrentes de abordagens tecnológicas de baixa emissão de CO<sub>2</sub>. Na verdade, não apenas no Brasil, mas em nível mundial, tem havido debates sobre a sustentabilidade dos biocombustíveis originados de plantios em terra no que tange também ao balanço energético. Discute-se, especialmente para o biodiesel, se este produto é capaz de fornecer mais energia do que a sua produção consome (REIJNDERS, 2009). Alguns relatos mostram que os resultados positivos dos balanços para os biocombustíveis se devem ao fato de que as emissões de CO<sub>2</sub> pelas mudanças indiretas no uso da terra não foram levadas em conta, ou que

as emissões de óxido nitroso têm sido subestimadas, de modo que, para alguns (GIBBS *et al.*, 2008; REIJNDERS; HUIJBREGTS, 2008), pode não haver benefícios em termos de geração de GEE (gases de efeito estufa) pelo uso dos biocombustíveis de primeira geração em substituição aos combustíveis fósseis.

Atualmente, a produção global de biocombustíveis é de aproximadamente 3% do total necessário para transportes rodoviários (estimada em 90 EJ). Tecnicamente, se considerado um máximo sustentável para extensão das culturas e a maior eficiência possível na fotossíntese (REIJNDERS, 2009; STERN, 2006), apenas 11% da demanda total de combustíveis líquidos para o setor dos transportes (equivalente a 20 EJ) poderá ser atendida por biocombustíveis, em 2050. As estimativas para o setor mostram que, para reduzir emissões de GEE, não basta que os biocombustíveis sejam neutros em termos de CO<sub>2</sub>. A contribuição da bioenergia para a redução de GEE só acontecerá se a biomassa sequestrar carbono em quantidade além do que seria capturado normalmente para o seu crescimento e outras funções vitais. O foco para garantia da sustentabilidade estaria no desenvolvimento de tecnologias carbono-neutras, capazes de sequestro de CO<sub>2</sub> acima da quantidade que lhes confere esta característica (BROWN; ZEILER, 1993 SEARCHINGER *et al.*, 2008), como sugere o uso de microalgas como matéria-prima.

Para superar os riscos ambientais e econômicos, devido à baixa eficiência dos processos de biocombustíveis de primeira geração, os sistemas de segunda e de terceira geração de biocombustíveis (usando microalgas) estão evoluindo em um novo mercado, cuja expansão tem valores estimados, para 2050, em torno de US\$ 500 bilhões (STERN, 2006). Enquanto os sistemas de primeira geração se baseiam em processos tecnológicos de transformação de óleos ou açúcares em biocombustíveis, os

de segunda geração envolvem o uso da biomassa, incluindo a lignocelulósica, que leva ao aproveitamento de podas de vegetação, restos de madeira, material fibroso e outros resíduos. Neste caso, os

**A contribuição da bioenergia para a redução de GEE só acontecerá se a biomassa sequestrar carbono em quantidade além do que seria capturado normalmente para o seu crescimento e outras funções vitais**

processos de produção envolvidos têm custos ainda não competitivos e dependentes de ajustes tecnológicos, de modo que se acredita que esta alternativa não será economicamente viável antes de 2020 (GIBBS *et al.*, 2008).

Apesar de os biocombustíveis de segunda geração representarem um avanço tecnológico sobre os de primeira geração, a produção em grandes volumes poderia acarretar os mesmos problemas relacionados ao uso do solo (REIJNDERS; HUIJBREGTS, 2008). A terceira geração de biocombustíveis é relacionada a avanços feitos na fonte (produção de biomassa), tecnologia que está sendo viabilizada através do cultivo de microalgas. A proliferação destes sistemas depende de recursos tecnológicos possivelmente menos exigentes que os sistemas de segunda geração e, portanto, alcançáveis em mais curto prazo e a menores custos, quando comparados com os processos de quarta geração, envolvendo modificações genéticas nas espécies produtoras de óleo. Para muitos (CHISTI, 2007, 2008; DISMUKES *et al.* 2008; HUNTLEY; REDALJE, 2007; MATA; MARTINS; CAETANO, 2010), as microalgas surgem como uma solução viável para a produção de biomassa, caracterizando-se o processo como gerador de biocombustíveis como biodiesel, etanol, bioquerosene, bioplásticos e intermediários químicos para o setor petroquímico. Para outros (REIJNDERS, 2009; ZEMKE; WOOD; DYE, 2009), apesar das vantagens das microalgas como matéria-prima para biocombustíveis, em comparação com plantas, os custos dos sistemas de cultivo, sobretudo dos sistemas fechados, podem determinar um balanço energético negativo, a não ser que insumos como CO<sub>2</sub> e nutrientes, produzidos industrialmente como restos, sejam aproveitados.

## VANTAGENS DA BIOFIXAÇÃO POR MICROALGAS ASSOCIADA A PROCESSOS INDUSTRIAIS GERADORES DE CO<sub>2</sub>

Além de ajustes tecnológicos para a diminuição da produção de GEE, como resíduos nos processos industriais, a redução do

CO<sub>2</sub> atmosférico pode ser alcançada com a sua remoção do ciclo biogeoquímico, por sequestro e estocagem. Para isso, são propostas ações, como a injeção de CO<sub>2</sub> em poços petrolíferos, em minas de carvão e de sal, em águas oceânicas profundas etc., envolvendo ainda a necessidade de desenvolvimento de tecnologias apropriadas a cada caso, para se evitar possíveis problemas ambientais (BENEMANN, 1997), representados por escapamento súbito ou vazamento gradual do gás. Uma alternativa mais segura seria a redução do CO<sub>2</sub> atmosférico pelo aproveitamento imediato do que é gerado nos sistemas produtivos, por biofixação, através da fotossíntese, realizada por microorganismos fotoautotróficos (BROWN; ZEILNER, 1993). A grande vantagem destes sistemas biológicos de absorção de carbono é a utilização de processos naturais, aperfeiçoados ao longo de milhões de anos, cuja fonte de energia é o sol. As plantas terrestres, apesar de fotossintetizantes, não têm proporcionalmente as mesmas vantagens que os microorganismos, porque sua capacidade assimilativa (eficiência fotossintética) é menor em aproximadamente uma ordem de magnitude (LONGHURST *et al.*, 1995), e o seu ciclo de produção é muito mais longo. Os sistemas de produção de biocombustíveis com base na produção de biomassa de microalgas como matéria-prima (contendo cerca de 50% de carbono em peso seco) surgem como uma das poucas opções que aliam o fato de produzir matéria renovável, portanto CO<sub>2</sub>-neutra, com a capacidade de sequestrar CO<sub>2</sub> fóssil, quando, por exemplo, o sistema de produção algal é

### **As microalgas são as principais responsáveis pela absorção biológica do CO<sub>2</sub> atmosférico na natureza**

acoplado a indústrias como termelétricas à base de carvão ou da queima de outros combustíveis fósseis (BENEMANN *et al.*, 2003). Neste caso, o CO<sub>2</sub> liberado pelas chaminés de termelétricas, proveniente de combustíveis fósseis ou de outros processos geradores de CO<sub>2</sub> (nas indústrias de álcool, de cimento, de alimentos etc.), poderá ser reutilizado no

processo fotossintético, produzindo biomassa renovável para biocombustíveis.

As microalgas são as principais responsáveis pela absorção biológica do CO<sub>2</sub> atmosférico na natureza. Além disso, são organismos utilizados em processos de tratamento de efluentes, reciclando as substâncias neles presentes (MALLICK, 2002) em biomassa microalgal, servindo, então, a três diferentes propósitos: (i) contribuição à estabilização do clima pela biofixação de CO<sub>2</sub>; (ii) formação de biomassa ecocompatível para biocombustíveis; (iii) contribuição à sustentabilidade ambiental, corrigindo possíveis fluxos de resíduos de CO<sub>2</sub> fóssil e tornando esgotos, que seriam ambientalmente prejudiciais, em matéria útil. Assim como as plantas, as microalgas requerem essencialmente três componentes para crescer, além de nutrientes: a luz solar, o dióxido de carbono e a água. No entanto, como os grupos de microalgas envolvem espécies de água doce tanto quanto de água salobra e salgada, seu cultivo pode explorar diferentes ambientes aquáticos. Podem crescer em terras não produtivas ou nos desertos e, assim, não competem com as culturas alimentares e nem exigem água em quantidade, quando comparadas com plantas. Uma maior taxa de crescimento (SPALAORE *et al.* 2006) em relação a todas as outras culturas para biocombustíveis e um alto teor de óleo na biomassa (20-70% em peso seco), muitas vezes superando os 50% (SINGH; GU, 2010), reduzem a área necessária para a produção de determinada quantidade de matéria-prima para biocombustíveis quando se usa microalgas. Elas podem ser

colhidas durante todo o ano, em contraste com a maioria das culturas agrícolas. Devido ao ciclo de crescimento mais curto (1-3 duplicações por dia), na maioria dos casos, e à produtividade resultante em biomassa, são capazes de fixar dez vezes mais CO<sub>2</sub> que as plantas terrestres. Por conseguinte, as microalgas são conversores de energia mais eficientes do que plantas. Nas microalgas, a eficiência de conversão de energia solar intrínseca é maior em 3% a 9% (ZEMKE; WOOD; DYE, 2009) do que para as culturas de plantas para biocombustíveis, cujo valor máximo teórico fica entre 1% a 3,7% (DISMUKES *et al.*, 2008). Nos cultivos de microalgas, um rendimento em biomassa de até 1.535 kg/m<sup>3</sup>/dia ou 158 t/ha/ano (CHISTI, 2007), dependendo da espécie e do sistema de cultivo, já foi comprovado. Considerando o valor médio de produção de 40% de óleo, na biomassa algal seca, estes valores indicam que poderia ser produzido um mínimo de 60 t de óleo/ha/ano, enquanto a mais rentável oleaginosa, o dendê, produz 6,0 t de óleo/ha/ano.

Apesar de todas as características referidas mostrarem a superioridade das microalgas em relação às plantas como matéria-prima para biocombustíveis, existem resultados negativos, confirmados por uma série de fontes independentes (NRE, 1998; REIJNDERS, 2009), mostrando as dificuldades para a produção comercial de biocombustíveis a partir de delas. As limitações são relacionadas a gargalos no sistema produtivo, resolvíveis com soluções inovadoras que venham a diminuir custos com a oferta de CO<sub>2</sub> e de nutrientes (envolvendo juntos cerca de 50% dos custos de produção da biomassa) ou dos custos dos processos *downstream* – colheita, secagem e retirada do óleo –, responsáveis por cerca de 30% dos custos de produção. Esta diminuição de custos pode ser feita em sistemas fechados e controlados de fotobiorreatores, cuja produtividade é maior que a de sistemas em tanques abertos (CHISTI, 2007), ou em sistemas híbridos de produção (comparativamente mais baratos), nos quais uma cultura controlada

em fotobiorreatores, inoculada em tanques abertos, promove uma reprodução rápida e eficaz, a ponto de impedir a contaminação por espécies não desejadas. Duas vantagens somadas ao desenvolvimento tecnológico que propicie a diminuição dos custos de produção devem ser exploradas a partir do cultivo de microalgas coligado a indústrias produtoras de CO<sub>2</sub>; a capacidade de produção de combustíveis CO<sub>2</sub>-neutros, associada à de sequestro de CO<sub>2</sub> gerado a partir de combustíveis fósseis, e a de produzir uma ampla gama de matérias-primas para uso industrial.

Apesar dos problemas associados aos custos de produção, as microalgas são apontadas como a única fonte corrente de óleo que poderia satisfazer a demanda global por combustíveis renováveis para transportes (CHISTI, 2006). São consideradas microfábricas de energia que utilizam o processo bioquímico da fotossíntese para converter energia solar em energia química, usada para converter o dióxido de carbono, água e outros compostos inorgânicos em substâncias orgânicas, basicamente lipídios, carboidratos e proteínas, além de outros subprodutos de valor (CHISTI, 2007). A composição química de microalgas é variável, tanto de acordo com as características das espécies, bem como com as condições de estresse durante o cultivo. Em percentagem de matéria seca (sem cinzas), esta variação vai de 12,5% a 55,8%; 8,0% a 67% e 13% a 54%, respectivamente, para as proteínas, carboidratos e lipídios. Em uma alga típica, os principais componentes bioquímicos contêm: 23,86 MJ/kg de proteína; 15,92 MJ/kg de carboidratos; 38,93 MJ/kg de lipídios e 18,05 MJ/kg de glicerol (FEINBERG, 1984). Assim, estas três frações bioquímicas produzidas pelas microalgas podem, potencialmente, ser convertidas em biocombustíveis, incluindo: (i) biodiesel, por esterificação ou transesterificação do óleo (GAVRILESCU; CHISTI, 2005); (ii) biogasolina ou bioquerosene, por craqueamento catalítico de hidrocarbonetos, produzidos por algumas espécies de algas (METZGER; LARGEAU, 2005); (iii) etanol, a partir da

fermentação dos hidratos de carbono; (iv) metano, produzido pela digestão anaeróbica da biomassa algal (SPOLAORE *et al.*, 2006). Algumas microalgas, tanto quanto cianobactérias, também podem produzir biohidrogênio em condições anaeróbicas.

Um estudo (YANG *et al.*, 2011) sobre o ciclo de vida do biodiesel de microalgas mostrou que a reciclagem da água de colheita reduz a necessidade em água e nutrientes, respectivamente, em 84% e 55%. Com água do mar, reduzem-se também as necessidades em água em até 90% e se elimina a demanda de praticamente todos os nutrientes, exceto fosfato. O emprego de água do mar no cultivo de microalgas pode reduzir o uso de nitrogênio em até 94% e eliminar a utilização de potássio, magnésio e enxofre. Além disso, o desenvolvimento de novos sistemas e processos poderá reduzir drasticamente os custos econômicos e energéticos de colheita e processamento de algas, tornando-as ainda mais atraentes como matérias-primas para biocombustíveis. Ao utilizar microalgas em vez de plantas para esse fim, os créditos de carbono podem gerar resultados econômicos positivos (RABINOVWITZ, 2010). Além de possibilitar novas oportunidades de desenvolvimento econômico ambientalmente compatível, no Brasil, esta proposta é convergente com os objetivos do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), com o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), além de atender aos programas internacionais voltados para a mitigação do aquecimento global.

### **POTENCIAL DE BIOFIXAÇÃO DO CO<sub>2</sub> POR MICROALGAS, CONSIDERANDO-SE A MÁXIMA PRODUTIVIDADE TEÓRICA**

As microalgas necessitam entre 1,8 kg e 2,0 kg de CO<sub>2</sub> para formar 1 kg de biomassa. Considerando-se esta relação, a quantidade de CO<sub>2</sub> presente no ar (0,03%) não é suficiente para promover a necessária pressão de gás nas culturas, para propiciar uma absorção de CO<sub>2</sub> capaz de gerar alta

produtividade. Assim, os cultivos de microalgas pressupõem uma oferta mínima de 2,0% a 2,5% de CO<sub>2</sub> no ar injetado no cultivo. Ge, Liu e Tian (2011) comprovaram que microalgas podem absorver até 15% de CO<sub>2</sub> no ar injetado nos cultivos, sem prejuízos metabólicos, o que indica a possibilidade de as culturas serem associadas a termelétricas, para absorção deste gás, que, no fumeiro, dependendo da tecnologia e do tipo de combustível usado, pode chegar a uma percentagem de 20%.

Para a estimativa da área de cultivo de microalgas a ser utilizada em associação a termelétricas, visando à produção de biomassa e óleo para biocombustíveis, é necessário determinar a eficiência de conversão máxima da energia da luz solar em energia de biomassa. Isso se calcula em termos de produtividade em biomassa ou em óleo, especialmente em triacilgliceróis (TAG), produto químico de armazenamento de carbono e energia (HU *et al.*, 2008), que pode ser convertido, por exemplo, em biodiesel. Esses lipídios neutros são, na sua maioria, formados sob condições ambientais desfavoráveis impostas durante o cultivo das microalgas, resultando na alteração das vias de biossíntese de lipídios, que, em condições normais, durante a fase de crescimento da cultura, gerariam ácidos graxos, formadores dos lipídios estruturais. Algumas espécies de algas (*Botryococcus* spp), sob condições adversas, também produzem hidrocarbonetos semelhantes aos encontrados no petróleo (METZGER; LARGEAU, 2005), utilizáveis para a produção de combustível para aviação.

Um modelo teórico para a determinação da produção de microalgas em cultivos abertos foi proposto por ZEMKE; WOOD; DYE (2009). O modelo levou em conta uma taxa de produção em sistemas abertos de cultivo de 30-40g biomassa algal/m<sup>2</sup>/dia (CHISTI, 2007). Considerando que durante as reações de luz, no processo fotossintético, 8-10 mol de fótons são necessários para liberar um mol de O<sub>2</sub> da água (WEYER *et al.*, 2010), os ganhos em eficiência na geração de compostos celulares puderam ser calculados com base no fato de que cada mol

de O<sub>2</sub> irá gerar 3 mol de ATP, equivalentes a 90 KJ (3x30 KJ/mol) e 2 mol de NADPH<sub>2</sub>, equivalentes 440 KJ (2x 220 KJ/mol), necessárias para fixar uma mol de CO<sub>2</sub>. Como os fótons solares no PAR (faixa de radiação fotossintética ativa, entre 400-700 nm, do violeta ao vermelho) podem ter um conteúdo energético variando entre 299 KJ/mol a 171 KJ/mol, Bassham (1980) considerou o valor de 208 KJ/mol para determinar a eficiência das reações de luz na fotossíntese, que seria de 31,8%, de acordo com a equação [Eq1].

$$[(90 + 440) / (8 \times 208)] = 0.318 \text{ [ Eq. 1].}$$

Como uma molécula de CO<sub>2</sub> fixado equivale a 475 KJ, a eficiência teórica máxima de conversão na fotossíntese seria de 28%, considerando-se a equação [Eq2].

$$[475 / (208 \times 8)] = 0.28 \text{ [ Eq.2 ].}$$

Como a faixa de PAR corresponde apenas a 0,45 da luz incidente (ZEMKE; WOOD; DYE, 2009), o valor de conversão máximo total seria 12,6%, conforme a equação 3 [Eq3].

$$0.28 \times 0.45 = 12.6\% \text{ [ Eq3 ].}$$

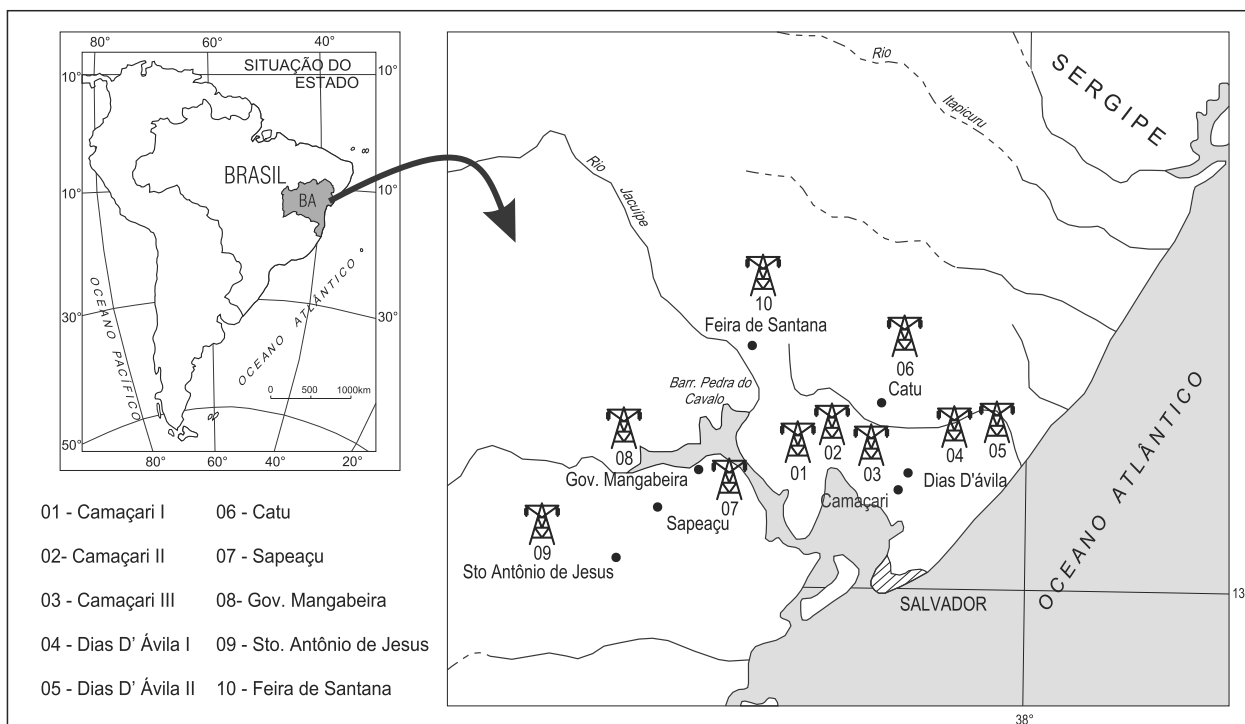
A eficiência de conversão de luz solar para hidratos de carbono (CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O → CH<sub>2</sub>O + O<sub>2</sub>) foi calculada (BASSHAM, 1980) como  $[(475 \text{ KJ} / (8 \times 208))] = 28 \%$ , considerando que uma molécula de CH<sub>2</sub>O contém 475 KJ. Da mesma forma, com base na reação geral para a formação de óleo (8CO<sub>2</sub> + 8H<sub>2</sub>O → H<sub>16</sub>OC<sub>8</sub> + 11,5 O<sub>2</sub>), conclui-se que seriam necessárias 92 moléculas de fótons (11,5x8 mol) para criar uma molécula de óleo. Como o óleo tem um conteúdo energético de 4,86 MJ/mol, a máxima eficiência da conversão em lipídios seria  $[4860 / (92 \times 208)] = 25,4\%$ . Essas taxas de conversão (da luz solar para biomassa por tempo e por área) são dependentes da densidade de potência da luz solar, da eficiência de transmissão de luz às microalgas, do teor de

energia por massa de microalgas e da eficiência com que as microalgas convertem os fótons em energia química. Ganhos de energia entre 50% a 90% são possíveis se contornadas as limitações biológicas relativas à eficiência com que a luz é aproveitada (ZEMKE; WOOD; DYE, 2009). Uma estratégia é utilizar cepas produtivas locais, já adaptadas ao clima.

### POSSÍVEL MITIGAÇÃO DO CO<sub>2</sub> RESULTANTE DA PRODUÇÃO DE TERMELÉTRICAS NO ESTADO DA BAHIA, ATRAVÉS DE BIOFIXAÇÃO POR MICROALGAS, EM CULTIVOS ASSOCIADOS ÀS EMPRESAS

Dentre as termelétricas (17) já implantadas na Bahia até 2007 e localizadas em diferentes regiões do estado, poucas usam o gás natural como combustível. Adicionalmente, como resultado dos leilões de energia nova A-3 e A-5 (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2011), dentre as termelétricas previstas para funcionamento entre 2011 e 2013, para fornecer energia ao Sistema Interligado Nacional (SIN), dez estarão localizadas na Bahia, na zona do Recôncavo ou em suas proximidades (Figura 2), e todas serão acionadas pela queima de óleo pesado (OCB1), derivado do petróleo. Mesmo utilizando tecnologias mais modernas, a queima deste tipo de combustível para produzir energia gera grandes quantidades de CO<sub>2</sub>, o que exige medidas para sequestro dos gases gerados. Um cálculo apenas envolvendo estas novas térmicas (dez) na Bahia, feito com base na queima de 100 t óleo/dia contendo 87% de carbono (PERRY; CHILTON, 1980), supondo-se apenas dois meses de funcionamento por ano e uma geração de 3,19 kg de CO<sub>2</sub>/kg de combustível queimado, mostrou a possibilidade de estas usinas lançarem na atmosfera 191.400 toneladas de CO<sub>2</sub>/ano (FADIGAS, 2009).

Que volume de cultivo de microalgas seria necessário para sequestrar esta quantidade de CO<sub>2</sub> gerado na Bahia apenas pelas dez termelétricas

**Figura 2****Localização das novas termelétricas na Bahia, com início de operação entre 2011 e 2012.**

Fonte: EPE (2008).

consideradas? A média de energia solar incidente no estado equivale a 1,7 MWh (6,12 GJ)/m<sup>2</sup>/ano (MARTINS *et al.*, 2008). Mas, assumindo-se que 90% desta luz chega às microalgas em tanques abertos de cultivo (5,50 GJ) e que apenas 45% da energia incidente (correspondente à PAR) é utilizada na fotossíntese (2,48 GJ) e, ainda, que, nesta faixa, só 90% dos fótons seriam absorvidos pelos pigmentos fotossintéticos (WEYER *et al.*, 2010), teríamos uma possibilidade de aproveitamento de 2,23 GJ do total da energia incidente (6,12GJ). Mas, admitindo-se que a eficiência máxima de conversão da energia destes fótons pelos pigmentos fotossintéticos seja de 28% (0,62 GJ) e que ainda podem ocorrer perdas por fotorrespiração (em torno de 15%) e por fotoinibição por excesso de luz (25% a 75%), um cálculo significativo considerando os valores citados levaria a um aproveitamento da energia incidente de apenas 0,13GJ (6,12 GJ x 0,9 x 0,45 x 0,9 x 0,28 x 0,85 x 0,25), equivalente a uma eficiência conservadora de conversão da energia

luminosa em energia química variável de 2,1% a 4,0%. Uma maior eficiência normalmente é conseguida diminuindo-se a fotoinibição (evitando-se altas incidências de luz) e a fotorrespiração (BENEMANN, 1997), no que ajudaria a utilização de espécies locais, já adaptadas às condições tropicais.

Com 1% de conversão da energia solar, o rendimento em biomassa (peso seco) é de cerca de 33 t/ha/ano (BENEMANN *et al.*, 2003). Considerando-se uma produção média de 40% de óleo na biomassa seca, é possível uma produção de cerca de 28 t de óleo/ha/ano (com base em 69 t/ha/ano de biomassa seca, correspondendo a um mínimo de 2,1% de eficiência de conversão) ou de cerca de 53 t de óleo/ha/ano (com base em 132 t de biomassa seca/ha/ano), com uma eficiência de 4%. Uma eficiência alta, com mínimo de fotoinibição (25%), propiciaria uma produtividade de 84 t de óleo/ha/ano, com base em uma produção de 40% de óleo extraído de 211 t de biomassa seca /ha/ano (considerando-se 6,4% de eficiência teórica máxima de conversão da

energia solar em óleo na biomassa). A produtividade em biomassa (0,025 kg/m<sup>2</sup>/dia, ~82t/ha/ano) dos cultivos algais já foi comprovada em tanques abertos, sendo maior (158 t/ha/ano) em fotobiorreatores (CHISTI, 2007). Se considerarmos uma produtividade média em biomassa de 100 t/ha/ano, em sistema híbrido de cultivo (culturas concentradas em fotobiorreatores, inoculadas em tanques abertos), associado a termelétricas, haverá uma biofixação (considerando-se 1,8 kg a 2,0 kg de CO<sub>2</sub>/kg de biomassa) em torno de 200 toneladas de CO<sub>2</sub>/ha/ano. Apenas as dez usinas na Bahia a serem instaladas no Recôncavo, previstas para estarem em atividade em 2013 (com liberação estimada de CO<sub>2</sub> em torno de 191.400 toneladas), admitindo-se o sequestro pelas microalgas de 2/3 apenas (127.600 t) do CO<sub>2</sub> produzido, poderiam gerar 63.800 toneladas de biomassa algal/ano, para o que seria necessária uma área de cultivo de 638 ha. O gás de fumeiro das termelétricas tipicamente contém 4% a 15% de CO<sub>2</sub>. Embora todo o CO<sub>2</sub> possa ser absorvido pelas microalgas sem causar alterações metabólicas deletérias (GE; LIU; TIAN, 2011), só parte do gás de fumeiro (dependendo do sistema de injeção nos tanques abertos) será absorvida pelo sistema. Os gases (NO<sub>x</sub> e SO<sub>x</sub>) que, em concentrações menores, são liberados pelas termelétricas não causam maiores transtornos metabólicos que se reflitam em uma menor produtividade algal (DOUCHA; STRAKA; LÍVANSKÝ, 2005).

Nas condições acima discutidas, a microalga estaria utilizando um resíduo prejudicial ao meio ambiente, usando-o como insumo para a produção de biomassa e óleo para biocombustível. Haveria três possibilidades de rendimento para a empresa: (i) venda de créditos de carbono (20 US\$/t de CO<sub>2</sub> evitado); (ii) substituição do óleo queimado nas caldeiras por biomassa algal (equivalendo a 100% de carbono evitado); (iii) diminuição no volume de óleo fóssil a ser queimado e, portanto, de outros gases GEE, como uma contribuição à sustentabilidade. Opcionalmente, se totalmente aproveitada, esta biomassa renderia, na dependência

da espécie cultivada e da metodologia de cultivo, um biogás com valor energético variando de 16,2 MJ/m<sup>3</sup> a 30,6 MJ/m<sup>3</sup>, com um rendimento de 0,15 m<sup>3</sup>/kg a 0,65 m<sup>3</sup>/kg de biomassa seca (CHISTI, 2008). Outra opção a ser avaliada seria a produção de biodiesel a partir da transesterificação do óleo extraído da biomassa (neste caso, produzindo-se até cerca de 25.500 t de biodiesel/ano) antes de sua queima como biomassa (cerca de 60% do volume total, de 63.800 t). Além da promoção de maior sustentabilidade, já que outros gases liberados pelas termelétricas, como sais de enxofre e de nitrogênio, podem ser, em determinadas quantidades, absorvidos pelo sistema de produção algal, este tipo de associação determinaria menores investimentos em controle. O rendimento pelo uso destas alternativas poderia cobrir os investimentos iniciais (cerca de US\$ 50.000/ha) na infraestrutura necessária ao cultivo algal, e os custos de produção estariam também sensivelmente diminuídos (NASCIMENTO *et al.*, 2011), pois se estaria evitando a compra do CO<sub>2</sub> comercial como insumo para o cultivo. Apesar de estimados com base em experimentos, os dados discutidos neste trabalho não podem prescindir de confirmação, através da montagem de projetos-pilotos implantados em associação com indústrias produtoras de CO<sub>2</sub> como resíduo dos processos produtivos, inclusive com o aproveitamento de outros restos, como nutrientes, eventualmente produzidos por tais indústrias. Uma sugestão de uma estrutura barata para o cultivo de microalgas e seu manejo foi recentemente publicada pelo grupo de pesquisadores do Labiomar/UFBA (NASCIMENTO *et al.*, 2011). Neste trabalho, uma análise econômica sucinta mostra a viabilidade de produção coligada, dentro de empresas produtoras de GEE.

## CONCLUSÕES

- A fixação pelas microalgas do dióxido de carbono e de outros gases provenientes da



queima de combustíveis fósseis e liberados pelas chaminés das usinas termelétricas a carvão, óleo combustível fóssil, gás natural, ou ainda originados de outros processos industriais constitui-se em importante estratégia relacionada à economia na produção de energia e à sustentabilidade.

- Esta revisão mostra as possibilidades de associação do cultivo de microalgas com termelétricas, promovendo a biofixação do CO<sub>2</sub> produzido, em paralelo a um aumento da viabilidade econômica do cultivo de microalgas para biocombustíveis. As possibilidades discutidas têm uma base conceitual firme, respaldada na literatura e nos trabalhos em nível laboratorial desenvolvidos no Labiomar (UFBA), com o uso de cepas locais produtivas de microalgas.
- O presente trabalho utilizou dois importantes parâmetros bioeconômicos (capacidade de biofixação de CO<sub>2</sub> e produtividade em biomassa e óleo) para mostrar as vantagens da associação do cultivo de microalgas a termelétricas. Nesta associação, as microalgas atuam como fixadoras do CO<sub>2</sub> gerado nas termelétricas a partir de combustível fóssil, utilizando este resto como insumo para produzir óleo ou biomassa para biocombustíveis.

## REFERÊNCIAS

- ALTIERI, Miguel A. The ecological impacts of large-scale agro fuel monocultures' production systems in the Americas. *Bulletin of Science, Technology & Society*, v. 29, n. 3, p. 236-244, 2009.
- ANUÁRIO ANÁLISE ENERGIA 2009. São Paulo: Análise Editorial, 2009. p. 233. Disponível em : <[www.analise.com](http://www.analise.com)>. Acesso em: 2 ago. 2011
- ANUÁRIO ESTATÍSTICO BRASILEIRO DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCMBUSTÍVEIS, 2010. Rio de Janeiro: ANP, 2010. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/37627928/Anuario-Estatistico-Brasileiro-do-Petroleo-Gas-Natural-e-Biocombustiveis-2010>>. Acesso em: 2 ago. 2011.
- BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL 2011. Ano base 2010. Resultados preliminares. Rio de Janeiro: EPE, 2011. Disponível em: <[www.ben.epe.gov.br/downloads/resultados\\_pre\\_BEN\\_2011.pdf](http://www.ben.epe.gov.br/downloads/resultados_pre_BEN_2011.pdf)>. Acesso em: 2 ago. 2011.
- BAÑADOS PÉREZ, Homero E. *Biodiesel de Microalgas*. São Paulo: Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, 2007. 19 p. Parte I
- BASSHAM, James A. Energy crops. In: *Biochemical and Photosynthetic aspects of Energy Production*. San Pietro: A. editor; New York: Academic Press, 1980. p. 147-173.
- BENEMANN, John R. et al. Technology Roadmap for biofixation of CO<sub>2</sub> and greenhouse gas abatement with microalgae. In: NATIONAL CONFERENCE ON CARBON SEQUESTRATION, 2., 2003, Alexandria, VA. *Proceed. Dept. of Energy / NETL*, Alexandria, VA, 2003. p. 17-23.
- BENNEMAN, J. R. CO<sub>2</sub> mitigation with microalgae systems. *Energy Conversion and Management*, v. 38, p. 475-479, 1997.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Quarto Relatório Nacional para a conservação sobre diversidade biológica*. Brasília: MMA, 2010. Disponível em: <[www.mma.gov.br/estruturas/chm/\\_publicacao16062011035415.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/chm/_publicacao16062011035415.pdf)>. Acesso em: 10 ago. 2011.
- \_\_\_\_\_. *Plano Nacional de Energia 2030*. Brasília: MMA, 2007. Disponível:<[http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2008\\_TN\\_STO\\_077\\_541\\_11890.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2008_TN_STO_077_541_11890.pdf)>. Acesso em: 6 ago. 2011.
- BROWN, Lewis M.; ZEILER, Kathryn, G. Aquatic biomass and carbon dioxide trapping. *Energy Conversion and Management*, v. 34, p.1005-10013, 1993.
- CHISTI, Yusuf. *Response to Reijnders: do biofuels from microalgae beat biofuels from terrestrial plants?* *Trends in Biotechnology*, v. 26, n.7, p. 351-352, 2008.
- \_\_\_\_\_. Biodiesel from microalgae. *Biotechnology Advances*, v. 25 p. 294-306, 2007.
- \_\_\_\_\_. Microalgae as sustainable cell factories. *Environmental Engineering and Management Journal*, v. 5, n. 3, p. 261-274, 2006.
- DEMIRBAS, Ayhan; DEMIRBAS, Fatih M. Biofuels securing the planets future energy needs. *Energy Conversion and Management*, v. 50, p. 2239-2249, 2009.
- DISMUKES, Charles et al. Aquatic phototrophs: efficient alternatives to land-based crops for biofuels. *Current Opinion in Biotechnology*, v.19, p. 235-246, 2008.
- DOORBOSCH, Richard; STEENBLIK, Ronald. Biofuels: is the cure worst than the disease?. In: ROUNDTABLE ON SUSTAINABLE DEVELOPMENT, 3., 2007, [S.l.]. *Trabalhos apresentados...*IEA; OECD - Organization for Economic Co-operation and Development, 2007. p. 57.
- DOUCHA, Jiří; STRAKA, František; LÍVANSKÝ, Karel. Utilization of flue gas for cultivation of microalgae (*Chlorella sp.*) in an outdoor open thin-layer photobioreactor. *Journal of Applied Phycology*, v. 17, n. 5, p. 403–12, 2005.

- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Leilão A-5/2008 contra 5.566 MW para atender o mercado nacional em 2013. Rio de Janeiro: EPE, [2011]. Disponível em: <[HTTP://www.epe.gov.br/imprensa/PressReleases/200809301.pdf](http://www.epe.gov.br/imprensa/PressReleases/200809301.pdf)>. Acesso em: 02 ago. 2011.
- FADIGAS, Francisco de Souza. Energia: a Bahia continua no caminho errado. *Link Recôncavo*, 26 set. 2009. Disponível em: <<http://www.ufrb.edu.br/linkreconcavo/2009/09/26/energia-a-bahia-continua-no-caminho-errado/>>. Acesso em: 2 ago. 2011.
- FEINBERG, Daniel A. *Fuel Options from Microalgae with Representative Chemical Compositions*. Colorado, USA: SERI - Solar Energy Research Institute, 1984. SERJ/TR-231-2427.
- GAVRILESCU, Maria; CHRISTI, Yusuf. Biotechnology- a sustainable alternative for chemical industry. *Biotechnology Advances*, v. 23, p. 471-499, 2005.
- GE, Yaming; LIU, Junzhi; TIAN, Guangming. Growth characteristics of *Botryococcus braunii* 765 under high CO<sub>2</sub> Concentration in photobioreactor. *Bioresource Technology*, v. 102, p.130-134, 2011.
- GIBBS, Holly K. et al. Carbon payback times for crop-based biofuel expansion in the tropics: the effects of changing yield and technology. *Environmental Research Letters*, v. 3, p. 034001, 2008.
- GRAEDEL, Thomas E.; ALLENBY, Braden R. *Industrial Ecology*. 2 ed New Jersey, USA: Edition AT e T; Prentice Hall Publisher, 2002. 416 p.
- HU, Qiang et al. Microalgal triacylglycerols as feedstocks for biofuel production: perspectives and advances. *Plant Journal*, v. 54, p. 621-639, 2008.
- HUNTLEY, Mark E.; REDALJE, Donald G. CO<sub>2</sub> mitigation and renewable oil from photosynthetic microbes: a new appraisal. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, v. 12, n.4, p. 573-608, 2007.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: <<http://www.mapas.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 2 ago. 2011.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL OF CLIMATE CHANGE. WMO/UNEP/IPCC. Fourth Assessment Report (AR4 Synthesis Report). [S.l.]: IPCC, 2007. 52 p.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (França). Carbon dioxide utilization: evaluation of specific biological processes which have the capability of directly utilizing high concentrations of carbon dioxide as found in a flue gas streams from power generation plant. Report 2008. Disponível em: <[http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2008/CCS\\_2008.pdf](http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2008/CCS_2008.pdf)>. Acesso em: 2 ago. 2011.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (França). *World Energy Outlook*. Paris, 2007.
- KADAM, Kiram L. Environmental implications of power generation via coal-microalgae co-firing. *Energy and Environment*, v. 27, p. 905-922, 2002.
- LONGHURST, Alan et al. An estimate of global primary production in the ocean from satellite radiometer data. *Journal of Plankton Research*, v. 17, p. 1245-1271, 1995.
- MACEDO, Isaias C.; SEABRA, Joaquim E. A.; SILVA, João E. A. R. Green house gases emissions in the production and use of ethanol from sugarcane in Brazil: the 2005/2006 averages and a prediction for 2020. *Biomass and Bioenergy*, v. 32, p. 582-595, 2008.
- MALLICK, Nirupama. Biotechnological potential of immobilized algae for wastewater N, P, and metal removal: a review. *Biometals*, v. 15, p. 377-390, 2002.
- MARTINS, Fernando Ramos et al. *Solar energy scenarios in Brazil*. Part One.: Resource Assessment. *Energy Policy*, v. 36, p. 2853-2864, 2008.
- MATA, Teresa M.; MARTINS Antônio A.; CAETANO, Nidia S. *Microalgae for biodiesel production and other applications: A review*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 14, p. 217-232, 2010.
- METZGER, Pierre; LARGEAU, Claude. *Botryococcus braunii* a rich source for hydrocarbons and related ester lipids. *Applied Microbiology and Biotechnology*, v. 66 p. 486-496, 2005.
- NASCIMENTO, Iracema et al. Microalgas como matéria-prima para biocombustíveis: uma opção eco-compatível para o aumento de eficiência na indústria sucroalcooleira. In: SEIJO, César Lodeiros (Org.) *Libro Del III Foro Iberoamericano de los Recursos Marinos y de la Acuicultura*. [Cumaná]: Instituto Oceanográfico de Venezuela Universidad de Oriente, 2011. p. 25-45.
- NRE-U.S.Department of Energy's Aquatic Species Program-Biodiesel from Algae, Colorado,1998. Disponível:<[http://www.fuelandfiber.com/Athena/biodiesel\\_from\\_algae\\_es.pdf](http://www.fuelandfiber.com/Athena/biodiesel_from_algae_es.pdf)>. Acesso em: 6 ago. 2011.
- OECD; FAO. *Agricultural Outlook 2009-2018*. Organization for Economic Cooperation and Development; Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2009 Report. 95 p. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/58616471/OECD-Agri-Outlook-09-18>>. Acesso em: 10 ago. 2011.
- PERRY, Robert H.; CHILTON, Cecil H. Análises elementares típicas dos Combustíveis de Petróleo. In: *MANUAL de Engenharia Química*. Tradução de Horácio Macedo, Luíza M. Barbosa e Paulo Emídio de F. Barbosa. 5. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1980.

- RABINOVWITZ, Robert. *Carbon marketing: trading strategies*. In: DEALING with Climate Changes. London: ECX (European Climate Exchange), 2010. p. 80-82.
- REIJNDERS, Lucas. Acute view transport biofuels: can they help limiting climate change without an upward impact on food prices? *Journal of Consumer Protection and Food Safety*, v. 4, p.75-78, 2009.
- REIJNDERS Lucas; HUIJBREGTS Mark A. J. Biogenic greenhouse gas emissions linked to the life cycles of biodiesel derived from European rapeseed and Brazilian soybeans. *Journal of Cleaner Production*, v. 16, p. 1943-1948, 2008.
- RHIGHELATO, Renton; SPRACKLEN, Dominick V. Carbon Mitigation by Biofuels or by Saving and Restoring Forests. *Science*, v. 317, p. 902, 2007. Support Online Material. Disponível em: < [www.sciencemag.org/cgi/content/full/317/5840/902/DC1](http://www.sciencemag.org/cgi/content/full/317/5840/902/DC1) >. Acesso em: 6 ago. 2011.
- SEARCHINGER, Timothy et al. Use of US croplands for biofuels increases greenhouse gases through emissions from land use change. *Science*, v. 319, p. 1238-1240, 2008.
- SINGH, Jasvinder; GU, Sai. Commercialization potential of microalgae for biofuels production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 14, p. 2596-2610, 2010.
- SPOLAORE, Pauline et al. Commercial applications of microalgae. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, v. 101, p. 87-96, 2006.
- STERN, Nicolas. *The economics of climate change; the Stern Review*. London: Cambridge University Press, Cambridge, 2006. Disponível em: <<http://www.fnu.zmaw.de/fileadmin/fnu-files/reports/sternreview.pdf>>. Acesso em: 8 ago. 2011.
- WEYER, Kristina et al. Theoretical Maximum Algal Oil Production. *Bioenergy Research*, v. 3, p. 204-213, 2010.
- XAVIER, Edna Elias. *Termeletricidade no Brasil - proposta metodológica para inventário das emissões aéreas e sua aplicação para o caso do CO<sub>2</sub>*. 2004. 308 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.
- YANG, Jia et al. Life-cycle analysis on biodiesel production from microalgae: Water footprint and nutrients balance. *Bioresource Technology*, v. 102, p. 159-165, 2011.
- ZEMKE, Peter E.; WOOD, Byard D.; DYE, Daniel J. Considerations for the maximum production rates of triacylglycerol from microalgae. *Biomass and Bioenergy*, v. 34, p. 145-151, 2009.

Artigo recebido em 26 de agosto de 2011  
e aprovado em 30 de setembro de 2011.





**Seção 5:**  
**Mudança climática e  
meio ambiente urbano**



# Estudo internacional de temperatura, calor e mortalidade urbana: o projeto Isotherm<sup>1</sup>

Maurício Lima Barreto\*

\* Ph.D em Epidemiologia pela University of London (UL); mestre em Saúde Coletiva e médico pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Professor titular de Epidemiologia da UFBA. mauricio@ufba.br

## Resumo

Este estudo descreve a mortalidade relacionada ao calor e ao frio em 12 populações urbanas de países de baixa e média renda, ampliando o conhecimento de como populações de países não membros da OCDE respondem a extremos de temperatura. Foi examinada a mortalidade diária em relação à temperatura ambiente, utilizando modelos autorregressivos de Poisson ajustados para estação do ano, umidade relativa, poluição do ar, dia da semana e feriados públicos. Conclui-se que essas populações experimentam aumentos na mortalidade devido a temperaturas altas e baixas. Os efeitos do calor e do frio variam dependendo de fatores climáticos e não climáticos, tais como perfil de doenças da população e estrutura etária. Embora se saiba que tais populações irão sofrer alguma adaptação às temperaturas crescentes, muitas provavelmente terão vulnerabilidade potencial às mudanças climáticas. Há necessidade de pesquisas adicionais para elucidar tal vulnerabilidade.

**Palavras-chave:** Temperatura. Calor. Mortalidade. Populações de baixa renda. Epidemiologia. Cidades. Fatores meteorológicos. Clima

<sup>1</sup> N. do E.: Os autores deste trabalho, aqui representados pelo doutor Maurício Barreto, fazem parte do projeto Isotherm, rede de pesquisa na área da Epidemiologia Ambiental que reúne pesquisadores de diversas universidades e centros de pesquisa nacionais e internacionais. Foi publicado pela Imprensa da Universidade de Oxford em nome do International Epidemiological Association, em 2008, tendo os seus direitos de publicação cedidos para *Bahia Análise & Dados*. Anthony J. McMichael – Colégio de Medicina e Ciências da Saúde da Universidade Nacional Australiana, Canberra, Austrália. Paul Wilkinson, R. Sari Kovats, Sam Pattenden, Shakoora Hajat, Ben Armstrong – Escola de Higiene e Medicina Tropical de Londres, Londres, Reino Unido. Nitaya Vajanapoom – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de Thammasat, Pathumtani, Tailândia. Emilia M. Niciu – Instituto de Saúde Pública, Bucareste, Romênia. Hassan Mahomed – Faculdade de Ciências da Saúde, Universidade do Instituto de Cape Town de Doenças Infecciosas e Medicina Molecular, Cape Town, África do Sul. Chamnong Kingkeow – Instituto de Pesquisa de Ciências da Saúde, Universidade de Chiang Mai, Chiang Mai, Tailândia. Mitja Kosnik – Instituto de Saúde Pública da República da Eslovênia, Ljubljana, Eslovênia. Marie S. O'Neill – Universidade da Escola de Saúde Pública de Michigan, Ann Arbor, MI, EUA. Isabelle Romieu – Instituto Nacional de Saúde Pública, Cuernavaca, Morelos, México. Matiana Ramirez-Aguilar – Secretaria de Saúde, Cidade do México, México. Nelson Gouveia – Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil. Bojidar Nikiforov – Centro Nacional de Higiene, Ecologia Médica e Nutrição, Sofia, Bulgária (póstumo).

**Abstract**

*This study describes the mortality rate linked to hot and cold temperatures in 12 urban populations of low- and médium-income countries, thereby increasing our knowledge of the manner in which populations of countries that are not members of the Organization for Economic Co-operation and Development respond to temperature extremes. The daily mortality rate was examined in relation to ambient temperature, using Poisson regression models adjusted for season, relative humidity, air pollution, day of the week, and public holidays. It is shown that these populations experience higher mortality rates in response to high and low temperatures. The effects of heat and cold vary depending on climactic and non-climactic factors, such as the illness profile and age structure of the population. Although it is known that such populations will need to adapt to increasing temperatures, many will probably be potentially vulnerable to climactic changes. Additional research is necessary in order to provide better understanding of this vulnerability.*

**Keywords:** Temperature. Heat. Mortality. Low-income populations. Epidemiology. Cities. Meterological factors. Climate.



## INTRODUÇÃO

Estudos em várias cidades, principalmente em países de baixa renda, têm mostrado que extremos de temperatura são acompanhados por aumentos marcantes na mortalidade (FOUILLET *et al*, 2003; JOHNSON *et al*, 2005; KOVATS; KOPPE; HEATWAVES, 2005). Até agora, a maior parte da evidência epidemiológica sobre mortalidade relacionada ao frio e ao calor vem da Europa, Japão e América do Norte (HONDA *et al*, 2007; BASU; SAMET, 2003; CURRIERO *et al*, 2002). Para populações situadas em latitudes médias e altas, o efeito global das baixas temperaturas predomina sobre as consequências do calor. Em países europeus, a mortalidade excessiva no inverno, comparada com meses de outras estações do ano, varia de 10% a 28% (HEALY, 2003; KEATINGE *et al*, 2002). Contudo, a forma da relação temperatura-mortalidade indica uma elevação mais acentuada nos extremos de calor do que de frio.

A urbanização está avançando em um ritmo acelerado em todo o planeta, com quase metade da população mundial vivendo em cidades. A maior parte deste crescimento ocorre em países de baixa renda e está particularmente concentrada em assentamentos informais e favelas. Isto, além da perspectiva de temperaturas mais elevadas devido a mudanças climáticas, ressalta a necessidade de compreender melhor como as populações urbanas nos países de baixa renda respondem à temperatura ambiental.

O Quarto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, publicado em 2007, reforça ainda mais a evidência de que estamos numa fase de mudanças climáticas, impulsionadas em grande parte pela atividade humana (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2007). O aumento projetado na temperatura média global da superfície em 2100 varia de 1,8°C a 4,0°C, com essa variação

**As cidades foram selecionadas para se ter uma ampla distribuição geográfica e pragmaticamente escolhidas pelo fato de se ter conseguido obter dados confiáveis**

refletindo grandemente as incertezas sobre o futuro socioeconômico e tecnológico da humanidade. Isto representa um ritmo de mudança rápido, com consequências potenciais nas esferas ambiental (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2007), econômica (STERN, 2007), social e de saúde (KOVATS; CAMPBELL-LENDRUM; MATTHIES, 2005; MCMICHAEL; WOODRUFF; HALES, 2006). O aumento na intensidade e na frequência de ondas de calor é um dos impactos mais prováveis da mudança climática antropogênica.

Neste artigo, caracterizamos sistematicamente os padrões de mortalidade relacionada à temperatura em populações de 12 cidades de países de baixa e média renda, para descrever a vulnerabilidade atual aos efeitos do calor e do frio ambientais.

## MÉTODOS

### População de estudo

As 12 cidades do estudo, dos cinco continentes, foram (de norte a sul): Ljubljana, Bucareste, Sofia, Delhi, Monterrey, Cidade do México, Chiang Mai, Bangkok, Salvador, São Paulo, Santiago e Cape Town (Tabela 1). As cidades foram selecionadas para se ter uma ampla distribuição geográfica e pragmaticamente escolhidas pelo fato de se ter conseguido obter dados confiáveis através de contatos locais. O Produto Interno Bruto (PIB) per capita dos países onde se localizam essas cidades variou de US\$ 440 a US\$ 9.780 (dados de 1998). Para comparação, o PIB do Reino Unido era de US\$ 21.410 (dados de 1998). Para cada cidade, contagens diárias de óbitos, por períodos de dois a cinco anos, foram obtidas de registros de mortalidade, com a ajuda dos coordenadores locais. Os dados sobre mortalidade de Delhi e Santiago foram fornecidos pelo Banco Mundial e haviam

Tabela 1

## Características das cidades

Cidade / País	Latitude e Longitude	Altitude (m)	População aproximada em milhões	PIB nacional/capita em 1998* (US\$)	Ano dos dados	Parâmetros meteorológicos e de poluição do ar – Média diária (Série de percentis de 5° a 95°)			Número médio diário de óbitos (Série de percentis de 5° a 95°)	Porcentagem de óbitos <sup>d</sup> por faixa etária			Porcentagem de óbitos <sup>d</sup> por causa		
						Temperatura média (°C)	Umidade relativa (%)	Concentrações de partículas b,c (µg/m <sup>3</sup> )		0-14	15-64	65+	Doença cardiovascular	Doença respiratória	Outras doenças
Ljubljana (Eslovênia)	46°03' N 14°30' E	298	0,3	9.780	1989-92	10,79 (-2,3 a 22,8)	76,6 (56-95)	BS 27,1 (4,7-91,0)	6,7 (3-12)	1,2	24,4	74,5	45,6	7,3	47,1
Bucareste (Romênia)	44°25' N 26°07' E	80	2,3	1.360	1994-97	12,1 (-3,6 a 25,5)	74,2 (53-95)	TSP 70,9 (43-99,8)	60,5 (42-81)	1,4	29,5	69,1	60,0	5,6	34,4
Sofia (Bulgária)	42°42' N 23°19' E	550	1,4	1.220	1996-99	10,7 (-3,3 a 23,5)	71,2 (52-89)	TSP 48,1 (3,9-126,0)	29,2 (19-41)	0,9	23,1	76,0	56,3	4,4	39,3
Delhi* (Índia)	28°39' N 77°13' E	239	9,9	440	1991-94	25,00 (13,5 a 35,2)	76,4 (56,1-93,2)	TSP 375,0 (219,5-567,5)	25,0 (14-37)	48,1	38,6	13,3	15,5	8,9	75,7
Monterrey (México)	25°41' N 100°18' W	538	2,5	3.840	1996-99	23,2 (11,6 a 30,6)	67,3 (46-89)	PM <sub>10</sub> 50,0 (21,4-96,6)	14,9 (8-23)	7,9	31,7	59,9	26,1	8,5	65,4
Cidade do México (México)	19°25' N 99°08' W	2.240	13,6	3.840	1994-98	17,2 (12,8 a 21,2)	52,6 (28,2-74,1)	PM <sub>10</sub> 68,7 (28,2-122,4)	178,0 (140-235)	13,7	35,2	51,1	25,8	12,0	62,2
Chiang Mai (Tailândia)	18°47' N 99°00' E	512	1,6	2.160	1995-97	26,3 (20,7 a 30,4)	72,9 (46-90)	PM <sub>10</sub> 65,3 (25,1-131,4)	39,2 (29-52)	8,0	57,1	34,9	16,9	8,2	74,5
Bangkok (Tailândia)	13°44' N 100°30' E	12	6,6	2.160	1991-92	28,9 (25,8 a 32,3)	68,9 (55,9-82,4)	PM <sub>10</sub> 61,7 (39,8-90,5)	52,8 (39-67)	9,3	41,0	47,9	34,3	5,3	59,8
Salvador (Brasil)	12°58' S 38°30' W	8	2,4	4.630	1996-99	26,1 (23,3 a 28,7)	81,1 (72-92)	-	30,6 (21-41)	14,0	41,2	44,9	32,4	11,8	55,8
São Paulo (Brasil)	23°32' S 46°37' W	730	9,7	4.630	1991-94	20,3 (13,9 a 25,3)	78,3 (59-92,4)	PM <sub>10</sub> 65,0 (31,6-128,8)	169,7 (137-208)	10,3	41,7	47,7	32,4	10,7	56,9
Santiago (Chile)	33°27' S 70°38' W	550	5,1	4.990	1998-91	16,7 (8,9 a 24,1)	71,1 (56,0-88,0)	PM <sub>10</sub> 106,3 (50,9-219)	55,2 (39-77)	-	-	-	33,0	14,4	52,7
Cape Town (África do Sul)	33°55' S 18°26' E	8	2,7	3.310	1996-99	18,9 (10,9 a 23,5)	70,9 (51,3-87,3)	PM <sub>10</sub> 26,2 (13,1-49,1)	39,8 (25-58)	10,9	42,0	47,0	32,2	11,6	56,1

Notas:

a - Indicadores de Desenvolvimento Mundial 2000 – Banco Mundial.

b - BS, fumaça preta; PM10, material particulado < 10 µg/m<sup>3</sup>; TSP, partículas suspensas totais.

c - As medidas de poluição tiveram como base dados de nove estações de monitoramento em Delhi, cinco em Monterrey e Cidade do México, três em Bangkok e duas em Chiang mai, Santiago e Cape Town.

d - Óbitos por todas as causas, excluindo causas externas. As causas de óbito tiveram como base as classificações utilizadas pelos bancos de dados do local (os códigos de CID nem sempre foram fornecidos), dados de mortalidade específica da cidade não disponíveis para Santiago.

e - Óbitos para Delhi referem-se a um de três distritos no território nacional da capital e incluem ~ 25% do total da cidade.

sido previamente compilados para estudos sobre poluição do ar e saúde (CROPPER *et al*, 1997). Os dados de Delhi relacionam-se a um dos três distritos do território da capital nacional e incluem 25% dos óbitos na cidade como um todo. Houve informações limitadas sobre a qualidade dos dados de registro de óbitos e existe a probabilidade de ter havido problemas com a completude e com a certificação da causa do óbito, particularmente nas cidades da Índia e da Tailândia.

### Variáveis ambientais

As temperaturas máxima e mínima diárias, a umidade relativa e, quando disponíveis, dados sobre precipitação foram obtidos das estações meteorológicas locais. As concentrações médias diárias de poluição por particulados – material particulado  $<10 \text{ mg/m}^3$  em diâmetro aerodinâmico (PM10), fumaça preta (BS) ou partículas totais suspensas (TSP) – foram obtidas para cada cidade, exceto para Salvador, bem como os níveis de ozônio troposférico, quando disponíveis. Dados confiáveis sobre infecções respiratórias (tais como gripe) não estavam disponíveis na maioria das cidades e não foi possível incluí-los em nossas análises.

Quando os dados para uma cidade foram recebidos de duas ou mais estações de monitoramento de poluição, foram calculadas as médias. Para evitar distorções devido a valores ausentes ocasionais em uma das estações, as medições diárias de cada estação primeiramente foram padronizadas para média zero e desvio padrão de unidade. Em seguida, foi tirada a média dos dados padronizados das várias estações, por dia, e as médias diárias foram convertidas novamente para uma escala absoluta, multiplicando-se pelo desvio padrão dos dados agrupados e adicionando-se a média geral sobre todos os anos. Um procedimento similar foi utilizado previamente para poluição do ar (RÜCKERL *et al*, 2007). Para séries meteorológicas, foi utilizada uma única estação para todas as cidades, exceto para Cidade do México e Monterrey, onde foram

fornecidos dados como um valor médio diário de todos os monitores que reportaram (O'NEILL *et al*, 2005). Foram inseridos dados em substituição a informações ausentes para concentrações diárias de particulados (na escala logarítmica) utilizando modelos de regressão linear. Estes modelos usaram como variáveis explicativas: dia da semana, semana do ano, ano e feriado público, bem como (quando disponíveis e estatisticamente significantes) temperaturas mínima e máxima diárias, umidade relativa, outras medidas de poluição (dióxido de enxofre, dióxido de nitrogênio, ozônio), velocidade do vento, direção do vento e pluviosidade.

Faltaram dados sobre temperatura e umidade apenas em Delhi (71 dias) e Salvador (dois dias, omitidos das análises). Em Delhi, inseriu-se a umidade relativa como a média do valor do dia anterior e do dia seguinte, quando disponível, e estimaram-se médias de temperatura de dois dias e 14 dias a partir de dados de pelo menos um e no mínimo sete dias, respectivamente.

### Abordagem estatística

A abordagem estatística geral constou, em primeiro lugar, da descrição gráfica das relações entre mortalidade e temperatura em cada cidade. Em seguida, quantificou-se essa associação para cada cidade, separadamente para calor e frio, assumindo uma resposta linear acima e abaixo da temperatura limite, respectivamente.

*Splines* cúbicos naturais (*splines* cúbicos condicionados a ser lineares para além da faixa de dados) também foram utilizados para criar gráficos da relação temperatura-mortalidade, nos quais a mortalidade é traçada como função suavizada de temperatura, com um *df* (grau de liberdade) para cada faixa de  $58^\circ\text{C}$  na temperatura.

As análises tiveram como base os óbitos devidos a todas as causas, excluindo as externas (isto é, códigos CID-9 acima de 800 ou classificação equivalente). Para cada cidade, a mortalidade diária foi examinada em relação à temperatura

ambiente utilizando modelos lineares generalizados de Poisson, ajustados para autocorrelação (Ordem 3), similares a modelos utilizados para estudos de poluição do ar e saúde (DOMINICI; ZEGER; SAMET, 2002; SCHWARTZ *et al*, 1996). O parâmetro temperatura utilizado nos modelos foi a temperatura média diária, visto que esta possui uma ligeira vantagem preditiva em relação às temperaturas mínima diária e máxima diária. Umidade relativa diária, dia da semana, feriados públicos e concentrações diárias de poluição por particulados (média do índice e dia anterior) também foram incluídos nos modelos. As concentrações de particulados foram incluídas por causa de relatos consistentes de associação com a mortalidade diária em estudos em todo o mundo (LEVY; HAMMITT; SPENGLER, 2000) e os feriados foram considerados porque os padrões de mortalidade e comportamento que influenciam as condições do ambiente podem mudar nestes dias. Dados sobre níveis de ozônio do ambiente disponíveis apenas para um subgrupo de cidades não foram incluídos na análise principal por causa de sua dependência da temperatura e da luz solar (colocando o ozônio – pelo menos em parte – no caminho entre a temperatura e a mortalidade). Contudo, para cidades com dados confiáveis, também se aplicaram modelos incluindo o ozônio, para testar sua influência sobre os efeitos relatados da temperatura.

Ajustaram-se *splines* cúbicos suavizados dos dados com nós igualmente espaçados para controlar as tendências seculares (por exemplo, mudanças demográficas) na mortalidade e evitar confusão adicional por outros fatores sazonalmente variáveis que não a temperatura. Foram utilizados 7 gl/ano para estes *splines* suavizados (aproximadamente equivalente a uma média móvel de dois meses). Este número de gl foi escolhido por apresentar a melhor adequação para

o controle de variáveis não medidas, passíveis de serem confundidas, e, ao mesmo tempo, fornecer informações suficientes para estimar os efeitos da temperatura em curto prazo (ARMSTRONG, 2006). Para testar se a escolha do número de gl foi crítica para os resultados, realizaram-se análises de sensibilidade utilizando 3 e 10 gl/ano e sem nenhum ajuste sazonal.

Como as representações gráficas de funções de autocorrelação parcial de resíduos indicaram autocorrelações positivas de baixa ordem (raramente acima de três), incorporou-se a autocorrelação nos modelos como resíduos defasados do mesmo modelo sem autocorrelação (BRUMBACK *et al*, 2000), embora esta estratégia tenha apresentado pouca influência sobre os resultados.

Foram usados modelos que permitiram que os efeitos do frio e do calor fossem distribuídos sobre um número de dias, como sugerido pelos resultados da própria análise exploratória e pela evidência de outras pesquisas publicadas (CURIERO *et al*, 2002; ARMSTRONG, 2006; BRAGA; ZANOBETTI; SCHWARTZ, 2001). Especificamente, para identificar melhor os efeitos do calor, que são principalmente relacionados às altas temperaturas recentes, foram ajustados modelos *spline* da média das temperaturas médias diárias sobre o dia índice e os dias anteriores. Em uma análise separada para identificar melhor os efeitos do frio, que geralmente são mais demorados, ajustaram-se modelos da média da temperatura média diária ao dia índice e aos 13 dias anteriores.

Para quantificar simplesmente os efeitos adversos das temperaturas baixas e altas, utilizaram-se modelos tipo “bastão de hockey” (*spline* linear) – isto é, modelos que assumem um aumento log-linear no risco abaixo de um limiar de frio ( $t_f$ °C) e acima de um limiar de calor ( $t_h$ °C). Especificamente, para efeitos da baixa temperatura, foi assumido que a mortalidade aumenta como uma

### **As concentrações de partículas foram incluídas por causa de relatos consistentes de associação com a mortalidade diária em estudos em todo o mundo**

função log-linear da média sobre os 14 dias anteriores de déficits de temperatura diária abaixo do limiar baixo  $t_l$ . Considerou-se que os efeitos eram funções log-lineares dos excedentes da temperatura média de dois dias sobre o limiar alto  $t_h$ . Os termos temperatura alta e baixa foram ajustados simultaneamente.

Os limiares de calor e frio ( $t_l$  e  $t_h$ ) foram estimados separadamente para cada cidade utilizando a probabilidade máxima, isto é, pelo cálculo das probabilidades sobre todos os valores inteiros para limiares na faixa dos dados, restritos para interpretação, de modo que  $t_l = t_h$ , onde as estimativas não restritas forneceram  $t_l > t_h$ . Os intervalos de confiança (ICs) de perfil de probabilidade foram calculados a partir de arranjos de probabilidades com ajuste para sobredispersão. ICs para as inclinações foram aqueles que se aplicaram quando fornecidos os limiares estimados dos efeitos do frio e do calor, isto é, não refletiram incertezas nas estimativas dos limiares. Todas as análises utilizaram STATA.

Para clareza da apresentação, são mostrados os resultados das análises para todas as idades e mortalidade por todas as causas, junto com a comparação de grupos de causa de óbitos por doenças cardiorrespiratórias e não cardiorrespiratórias. As representações gráficas de temperatura-mortalidade para alguns grupos de causa específica de óbito são fornecidas como material suplementar.

Investigou-se se os limiares de calor e frio estão relacionados a temperaturas médias, como uma indicação da adaptação ao clima local (CURRIERO *et al*, 2002). Isso foi feito representando graficamente os limiares *versus* as temperaturas média e máxima anuais. Além disso, aplicou-se metarregressão de efeitos aleatórios aos coeficientes de mortalidade relacionada à temperatura e várias outras características no âmbito da cidade, para explicar uma possível heterogeneidade (THOMPSON; SHARP, 1999).

## RESULTADOS

### Padrões sazonais de clima e mortalidade

A variação sazonal (intra-anual) na mortalidade por todas as causas, a temperatura diária média e as precipitações são mostradas, por cidade, na Figura 1. No geral, as cidades com temperaturas mínimas comparativamente frias e com grandes flutuações de temperatura também tiveram grandes flutuações sazonais na mortalidade, com os índices de óbito mais altos ocorrendo durante períodos de frio relativo. Contudo, isto não ocorreu para Delhi, onde as taxas de mortalidade foram baixas durante os períodos mais frios e mais altas no terceiro bimestre, nas monções ou logo após. Das quatro cidades tropicais (dentro do paralelo 23°27', ao norte ou ao sul do equador), três – Bangkok, Chiang Mai e Salvador – mostraram apenas uma variação modesta na mortalidade através do ano, enquanto que a Cidade do México, de altitude elevada (19° N, 2.240 m acima do nível do mar), mostrou sazonalidade muito mais clara. Foi notável a nitidez da elevação e da queda na mortalidade nos meses de meados do inverno nas duas cidades mexicanas, apesar de haver apenas um modesto declínio nas temperaturas no inverno nestas cidades. Em contraste com a associação amplamente observada entre os períodos de inverno e a mortalidade, nenhum aumento sazonal nas taxas de óbito foi claramente discernível, a partir dos gráficos, durante períodos de temperatura mais elevada.

### Representações gráficas de temperatura-mortalidade

Os gráficos da Figura 2a mostram representações suavizadas da mortalidade *versus* média da temperatura do dia atual e do dia anterior. As curvas são valores preditos dos modelos saturados com 1 gl para cada 5°C. Os gráficos revelam uma ampla variedade de relações não lineares de temperatura-mortalidade, apesar de,

em cada cidade, com exceção de Chiang Mai e Cape Town, um aumento na mortalidade com o aumento da temperatura ter sido evidente sobre parte da distribuição da temperatura.

Particularmente, grandes flutuações na mortalidade relacionada ao calor foram aparentes em Monterrey, Delhi, Bangkok e Sofia, embora a forma das curvas e os limiares dos efeitos do calor tenham variado. Para Salvador e Delhi, houve uma associação positiva entre temperatura e mortalidade por toda a faixa de temperatura daquelas cidades.

A Figura 2b contém representações gráficas suavizadas de mortalidade *versus* média de temperatura sobre o dia índice e os 13 dias precedentes. Novamente, os padrões variam. Estas curvas mostram clara evidência de óbitos relacionados ao frio em todas as cidades, exceto Ljubljana,

Salvador e Delhi. Um efeito do frio sobre toda, ou quase toda, a distribuição da temperatura foi observado em Bucareste, Sofia e Cidade do México. Particularmente, gradientes mais íngremes de frio foram observados sobre parte da distribuição de temperatura em Chiang Mai, Monterrey, Cidade do México e Bangkok. Os gradientes foram comparativamente rasos em Bucareste e Sofia, mas os efeitos do frio ocorreram sobre faixas de temperatura muito mais amplas. Em contraste, a mortalidade variou pouco através da faixa mais estreita de temperaturas em Salvador.

Gráficos adicionais por causa de óbito sugerem que o calor contribui para a mortalidade por doença cardiovascular na maioria das cidades. Óbitos por doença cardiovascular relacionada ao frio foram observados em todas as cidades europeias,

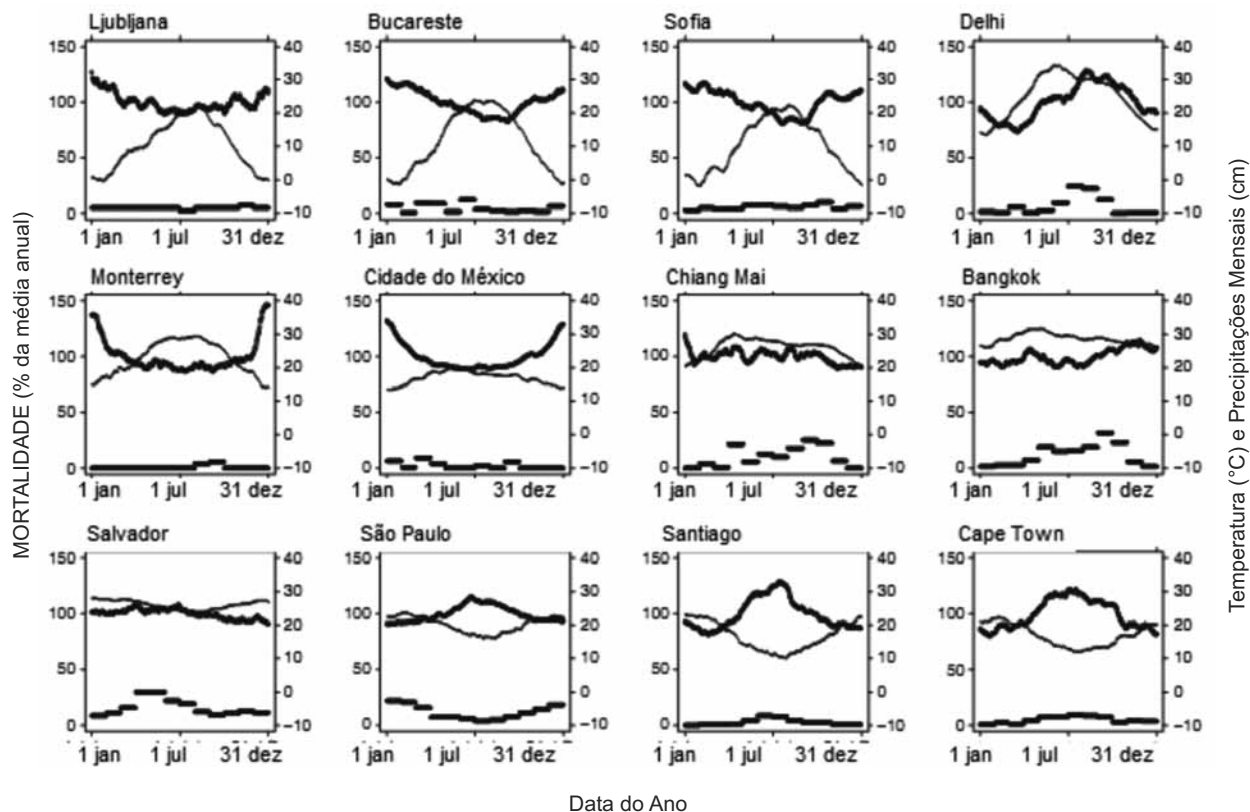


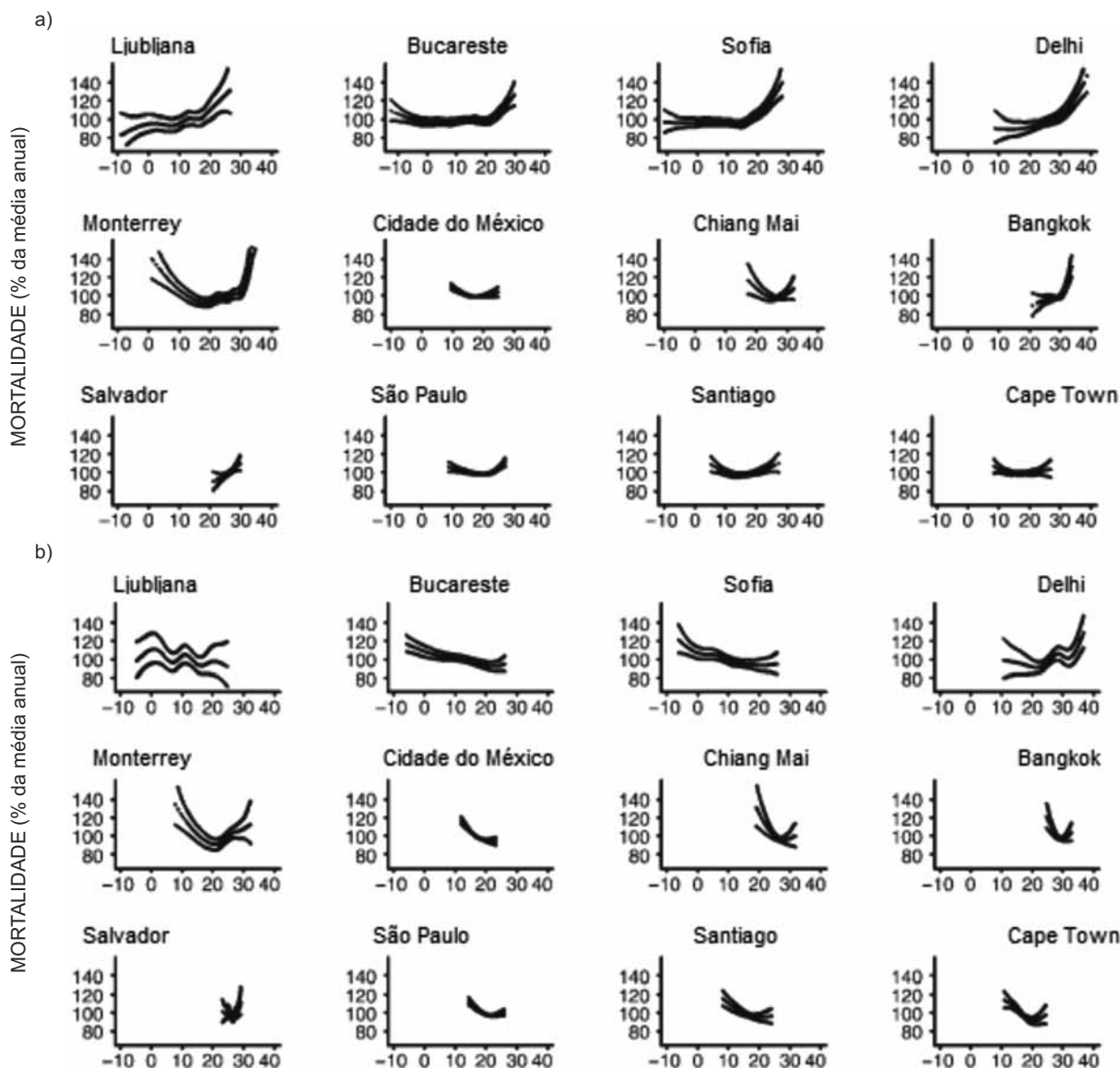
Figura 1

Padrão sazonal médio da mortalidade diária (linhas superiores em negrito), bem como temperatura diária e precipitações mensais (curvas inferiores). Os dados de todos os anos representam a média por dia do ano. A mortalidade diária (o eixo Y) é expressa com relação à mortalidade média anual para aquela cidade como uma porcentagem

Fonte: Elaborado pelo autor.

Cidade do México, Bangkok, São Paulo, Santiago e Cape Town. A mortalidade por doença respiratória aumentou com o calor em Bucareste, Sofia, Salvador e São Paulo, e com o frio na Cidade do México, São Paulo, Santiago e Cape Town, embora as várias curvas não permitam uma interpretação clara.

Os óbitos por “outras causas” contribuíram para mais da metade de todos os óbitos nas cidades não europeias e incluíram causas de óbito não específicas ou não classificadas (Tabela 1). Portanto, os gráficos foram muito similares àqueles de mortalidade por todas as causas. A principal diferença



**Figura 2**

Curvas de regressão de spline cúbico natural para mortalidade diária (a) na temperatura média nos dias atual e anterior (defasagens 0 e 1); (b) na temperatura média no dia atual e nos 13 dias anteriores (defasagens 0-13). Cada figura mostra a curva de spline (a linha média) com um IC 95% (as duas linhas externas). As curvas são ajustadas para variação temporal suavizada, umidade relativa, dia da semana, feriados públicos e poluição por particulados, como descrito no texto. A mortalidade prevista (o eixo Y) é expressa com relação à mortalidade média anual para aquela cidade como uma porcentagem

Fonte: Elaborado pelo autor.

**Tabela 2**  
**Limiares e inclinações das relações temperatura - mortalidade**

Cidade	Limiar (°C) com IC 95%		Aumento percentual na mortalidade para cada diminuição em °C na temperatura abaixo do “limiar de frio” (IC 95%) <sup>c</sup>	Aumento percentual na mortalidade para cada aumento em °C na temperatura abaixo do “limiar de calor” (IC 95%) <sup>c</sup>
	Inferior (frio) <sup>a</sup>	Superior (calor) <sup>b</sup>		
Ljubljana	17 (7–20)	17 (7–20)	0,43 (-0,78–1,65)	3,12 (1,26–5,02)
Bucareste	22 (20–22)	22 (20–22)	0,85 (0,44–1,25)	3,30 (2,35–4,26)
Sofia	16 (15–17)	16 (15–17)	0,93 (0,37–1,49)	2,88 (2,11–3,65)
Delhi	19 (–39) <sup>d</sup>	29 (8–30)	2,78 (0,66–4,94)	3,94 (2,80–5,08)
Monterrey	17 (13–19)	31 (31–33)	4,70 (3,04–6,40)	18,8 (13,0–25,0) <sup>e</sup>
Cidade do México	15 (14–15)	18 (8–21)	6,90 (5,70–8,11)	0,77 (0,14–1,39)
Chiang Mai	19 (–20) <sup>d</sup>	28 (17–) <sup>d</sup>	84,3 (48,1–129) <sup>e</sup>	2,39 (-0,49–5,35)
Bangkok	29 (29–30)	29 (29–30)	4,09 (1,27–6,98)	5,78 (3,52–8,09)
Salvador	23 (–30) <sup>d</sup>	23 (20–27)	-12,8 (-34,7–16,4)	2,48 (0,93–4,05)
São Paulo	21 (18–22)	23 (19–23)	2,47 (1,78–3,16)	3,46 (2,62–4,31)
Santiago	16 (14–20)	16 (14–20)	2,53 (1,44–3,62)	1,04 (0,28–1,81)
Cape Town	17 (15–22)	17 (15–22)	3,82 (2,08–5,60)	0,47 (-0,31–1,24)

Fonte: Elaborado pelo autor.

a Pontos de mudança inferior.

b Pontos de mudança superior dos modelos “bastão de hockey” de *spline* linear (restritos, de modo que  $t_i < t_n$ ).

c Ajustado para poluição do ar por particulados, umidade relativa, dia da semana, feriados públicos, estação do ano.

d CI se estende ao limite da faixa de temperatura observada.

e Limiar de frio abaixo do 5º percentil da distribuição de temperatura observada ou limiar de calor acima do percentil 95º.

foi que, em Santiago, os óbitos por “outras causas” não mostraram evidência de estarem relacionados ao frio. Com relação à idade, os padrões de mortalidade por todas as causas relacionadas à temperatura nas populações de adultos (15-64 anos) e idosos (65 + anos) foram muito similares aos gráficos de todas as idades na Figura 2. Números relativamente pequenos de óbitos significam que os gráficos para crianças muitas vezes foram imprecisos.

### Quantificação das relações temperatura-mortalidade

Para fornecer estimativas quantitativas das relações temperatura-mortalidade, apresentam-se na Tabela 2, os resultados dos modelos “bastão de hockey”, nos quais assumiu-se que os efeitos do calor e do frio seguiram formas lineares simples acima e abaixo dos limites de temperatura. Assim,

para cada cidade, obtiveram-se um declive e um limiar para a relação de frio com a mortalidade utilizando a temperatura média de duas semanas e, simultaneamente, um declive e um limiar separados para a relação do calor, utilizando médias de temperatura de dois dias.

Estimativas pontuais do limiar de temperatura abaixo do qual a mortalidade relacionada ao frio ocorreu pela primeira vez variaram de 15°C a 29°C. O limiar acima do qual ocorreram os óbitos relacionados ao calor variou de 16°C a 31°C. O aumento na mortalidade por cada °C abaixo do limiar de frio foi maior em Chiang Mai, Cidade do México, Monterrey e Bangkok. O aumento na mortalidade por cada °C acima do limiar de calor foi maior em Monterrey, Bangkok, Delhi e São Paulo. Contudo, tanto o gradiente de mortalidade relacionada ao frio como o de mortalidade relacionada ao calor foram sensíveis à seleção do limiar, tornando difícil a comparação. Os



**Tabela 3**  
**Comparação dos limiares e inclinações para causas de óbito cardiorrespiratórias e não cardiorrespiratórias**

Cidade	Causa do óbito	Percentis 5° e 95° da distribuição de temperatura	Limiares em o (IC 95%) <sup>a</sup>		Aumento percentual na mortalidade para cada °C abaixo do "limiar de frio" (IC 95%) <sup>b</sup>	Aumento percentual na mortalidade para cada °C acima do "limiar de calor" (IC 95%) <sup>b</sup>
			Inferior (frio)	Superior (calor)		
Ljubljana	Cardiorrespiratória	-2,3, 22,8	-	18 (15-21)	-	3,35 (0,43-6,35)
	Não cardiorrespiratória	-2,3, 22,8	-	-10 (-11 a 17)	-	1,77 (0,67-2,88)
Bucareste	Cardiorrespiratória	-3,6, 25,5	-7 (-8 a 22)	22 (21-23)	21,2 (10,9-32,5)	3,92 (2,75-5,10)
	Não cardiorrespiratória	-3,6, 25,5	-	20 (16-23)	-	1,87 (0,76-3,00)
Sofia	Cardiorrespiratória	-3,3, 23,5	-3 (-9 a 1)	15 (14-17)	6,28 (2,60-10,1)	3,43 (2,47-4,39)
	Não cardiorrespiratória	-3,3, 23,5	21 (9-28)	28 (15-.) <sup>c</sup>	1,15 (0,33-1,97)	510 (118 a >1000) <sup>d</sup>
Delhi	Cardiorrespiratória	13,5, 35,2	12 (-13) <sup>c</sup>	17 (12-19)	203 (41,2-553) <sup>d</sup>	3,94 (2,38-5,53)
	Não cardiorrespiratória	13,5, 35,2	19 (-30) <sup>c</sup>	30 (27-31)	2,65 (0,21-5,16)	4,30 (2,89-5,72)
Monterrey	Cardiorrespiratória	11,6, 30,6	17 (13-20)	30 (30-31)	5,36 (2,49-8,31)	17,6 (11,0-24,7)
	Não cardiorrespiratória	11,6, 30,6	17 (10-19)	33 (18-33)	4,58 (2,58-6,61)	49,3 (27,8-74,3) <sup>d</sup>
Cidade do México	Cardiorrespiratória	12,8, 21,2	15 (15-16)	16 (15-20)	9,18 (7,31-11,09)	1,05 (0,36-1,75)
	Não cardiorrespiratória	12,8, 21,2	14 (13-15)	21 (14-.) <sup>c</sup>	8,21 (5,98-10,48)	1,53 (-0,57 a 3,67)
Chiang Mai	Cardiorrespiratória	20,7, 30,4	-	-	-	-
	Não cardiorrespiratória	20,7, 30,4	19 (-20) <sup>c</sup>	-	98,8 (56,1-153) <sup>d</sup>	-
Bangkok	Cardiorrespiratória	25,8, 32,3	-	-	-	-
	Não cardiorrespiratória	25,8, 32,3	29 (26-30)	29 (28-30)	4,46 (0,89-8,17)	7,52 (4,62-10,5)
Salvador	Cardiorrespiratória	23,3, 28,7	-	28 (27-28)	-	14,7 (4,69-25,7)
	Não cardiorrespiratória	23,3, 28,7	-	22 (21-25)	-	2,61 (0,66-4,59)
São Paulo	Cardiorrespiratória	13,9, 25,3	21 (18-23)	23 (23-24)	3,35 (2,38-4,32)	3,26 (2,04-4,50)
	Não cardiorrespiratória	13,9, 25,3	19 (17-21)	19 (18-21)	2,75 (1,51-4,01)	1,68 (1,21-2,15)
Santiago	Cardiorrespiratória	8,9, 24,1	17 (15-19)	17 (15-26)	5,03 (3,60-6,49)	1,47 (0,25-2,72)
	Não cardiorrespiratória	8,9, 24,1	-	-	-	-
Cape Town	Cardiorrespiratória	10,9, 23,5	18 (-26) <sup>c</sup>	-	2,70 (0,44-5,01)	-
	Não cardiorrespiratória	10,9, 23,5	16 (15-22)	-	5,29 (2,60-8,05)	-

Fonte: Elaborado pelo autor.

a Pontos de mudança inferior.

b Pontos de mudança superior dos modelos "bastão de hockey" de spline linear (restritos, de modo que  $t1 < t_h$ ).

c Ajustado para poluição do ar por particulados, umidade relativa, dia da semana, feriados públicos, estação do ano.

d CI se estende ao limite da faixa de temperatura observada.

e Limiar de frio abaixo do 5° percentil da distribuição de temperatura observada ou limiar de calor acima do percentil 95°.

gradientes muito amplos para frio em Chiang Mai e para calor em Monterrey refletem, em parte, que os limiares correspondentes foram muito próximos dos limites das distribuições de temperatura observadas nestas cidades.

Todos esses modelos incluíram poluição do ar por particulados, porém, o impacto de sua inclusão sobre os declives de temperatura foi muito pequeno (mudança proporcional de <20% no coeficiente) para todos os termos, exceto para

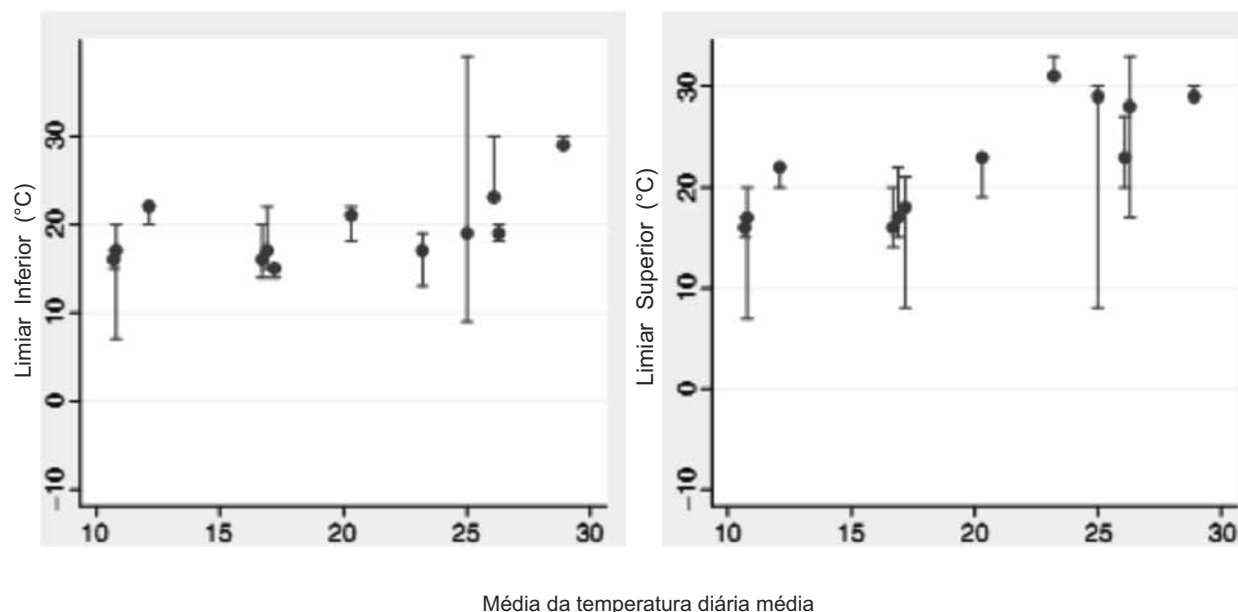
dois termos pequenos e imprecisamente estimados: o declive de frio em Ljubljana (que reduziu de 0,43%/°C para 0,23%/°C quando PM foi removido) e o declive de calor em Cape Town (0,47 para 0,67%).

### Limiares e declives para causas de óbito cardiorrespiratórias e não cardiorrespiratórias

Para explorar os modelos tipo “bastão de hockey” para causas específicas de óbito, classificou-se a mortalidade em doença cardiorrespiratória e não cardiorrespiratória (Tabela 3). Mesmo com esta subdivisão bastante ampla em todas as idades, vários dos limiares e inclinações são imprecisos. Em vários casos (as células brancas na Tabela 3), não houve evidência clara de um limiar para o efeito de calor e de frio. Em vários outros casos, o arranjo das probabilidades para os limiares de temperatura (que, particularmente, foram definidos pela enfermidade para doença não cardiorrespiratória) sugeriu valores de  $t_l$  e  $t_h$  muito

próximos aos limites das distribuições de temperatura (por exemplo, com os limiares de frio abaixo do 5º percentil ou com limiares de calor acima do 95º percentil, respectivamente). Nestes casos, o declive associado de temperatura-mortalidade geralmente foi de grande magnitude, refletindo a instabilidade das estimativas de declive quando os dados são esparsos em uma faixa de temperatura muito estreita.

No geral, os resultados confirmam a ampla relação temperatura-mortalidade em forma de U para ambos os grupos de causa de óbito, embora a evidência seja menos consistente para doenças não cardiorrespiratórias. Quando os limiares não foram em direção aos extremos das distribuições de temperatura, os resultados mostraram um padrão bastante consistente, com um aumento de vários percentuais na mortalidade cardiorrespiratória para cada diminuição de grau de temperatura abaixo do limiar de frio ou aumento acima do limiar de calor. Para doenças não cardiorrespiratórias, os declives foram mais variáveis,



**Figura 3**  
Limiares de temperatura *versus* temperaturas médias anuais para as 12 cidades  
(as barras verticais indicam o IC 95%)

Fonte: Elaborado pelo autor.

possivelmente refletindo a maior alteração entre as cidades no componente causas de óbito. Alguns resultados aparentemente surpreendentes (tais como o limiar de “calor” de  $-10^{\circ}\text{C}$  para Ljubljana) provavelmente podem ser descontados como erros de amostragem (IC 95% de -11 a 17).

### Modelos de metarregressão de segunda etapa

Em geral, os limiares de calor foram mais elevados nas cidades com altas temperaturas médias anuais (valor de  $P$  para tendência = 0,005) e houve evidência sugerindo que os limiares de frio tenderam a ser mais baixos nas cidades com baixas temperaturas médias anuais (valor de  $P$  para tendência = 0,06) (Figura 3). Além disso, observou-se uma ligeira associação negativa entre declives de frio e umidade relativa anual. Além dessas associações, os modelos de regressão de segunda etapa dos efeitos aleatórios não revelaram associações significantes em  $P < 0,05$  entre limiares ou inclinações de calor/frio e em nenhuma das seguintes variáveis da Tabela 1: latitude, altitude, PIB, temperatura média anual, umidade relativa média anual ou proporção de óbitos na faixa etária de 65+.

## DISCUSSÃO

Esta é a primeira tentativa sistemática de caracterizar e comparar as relações entre temperatura-mortalidade em cidades de baixa e média renda utilizando métodos consistentes. As cidades estudadas abrangeram ampla faixa de latitude, temperatura média sazonal e desenvolvimento econômico.

Na interpretação dos resultados, nota-se primeiramente que as formas precisas de relação de temperatura-mortalidade dependem, até certo ponto, dos métodos estatísticos utilizados para

derivá-las – por exemplo, o método de ajuste dos limiares de temperatura, que, como seus ICs sugerem, não são determinados com precisão. Contudo, tentou-se construir, o mais precisamen-

te possível, modelos que refletissem as associações de temperatura-mortalidade subjacentes e testou-se a sensibilidade dos resultados a um número de alternativas metodológicas. Também

utilizou-se uma abordagem que teve flexibilidade suficiente para caracterizar padrões muito diferentes de temperatura-mortalidade (gl variável para os gráficos de mortalidade dependendo da faixa de temperatura, limiares separados), enquanto empregaram-se alguns métodos comuns (por exemplo, gl idêntico para a suavização sazonal) para ajudar na comparabilidade entre as cidades. A falta de dados confiáveis sobre infecções respiratórias sazonais para a maioria das cidades foi apenas uma limitação menor para estimar a mortalidade relacionada ao frio, devido à inclusão do ajuste para fatores sazonais, através do uso de *splines* cúbicos suavizados (O'NEILL *et al*, 2005; BRAGA; ZANOBETTI; SCHWARTZ, 2000). Essa falta de dados provavelmente pouco influenciou nos resultados dos efeitos do calor.

Embora se tenha ajustado a poluição do ar por particulados (O'NEILL *et al*, 2005), ela foi considerada inapropriada para ajustar também os níveis de ozônio, que são, em parte, uma função da temperatura e da luz solar. Foi feito o ajuste do ozônio em várias cidades (Sofia, Monterrey, Cidade do México, Chiang Mai, São Paulo, Santiago e Cape Town) como uma análise de sensibilidade, porém, o efeito resultante sobre os declives de calor foi pequeno (na maioria das vezes, idêntico ou muito similar a dois algarismos significativos).

Para mortalidade por todas as causas, houve diferenças importantes entre as cidades, com alguma evidência de aumentos relacionados ao frio em todas as cidades, com exceção de Ljubljana

e Salvador, e aumentos relacionados ao calor em todas as cidades, com exceção de Chiang Mai e Cape Town. Quando os limiares modelados para os efeitos do calor e do frio foram em direção aos limites superior e inferior da distribuição da temperatura para a cidade relevante, as inclinações dos modelos tipo “bastão de hockey” algumas vezes foram estáveis. Contudo, se interpretados em combinação com os gráficos da Figura 2, os resultados mostram que os aumentos abruptos na mortalidade com temperaturas altas e baixas ocorreram durante parte da distribuição da temperatura nas cidades de regiões tropicais e temperadas. Monterrey mostrou um aumento particularmente impressionante na mortalidade nas extremidades superior e inferior da faixa de temperatura observada.

As diferenças entre as cidades não foram explicadas pelos fatores demográficos ou econômicos explorados na metarregressão. O pequeno número de cidades nessa avaliação (12) limita a força de uma análise de segunda etapa em revelar fatores explicativos para a variação observada nos padrões de resposta da população às temperaturas ambientais. Políticas preventivas eficazes (“adaptativas”) necessitarão compreender os determinantes geográficos, sociais e ecológicos particulares e as sensibilidades do padrão de resposta da população de interesse. Determinantes relevantes incluem a estrutura etária da população, o perfil socioeconômico, a prevalência de doenças sensíveis à temperatura, a compreensão pública dos riscos à saúde, o ambiente construído e o nível de desenvolvimento de infraestrutura e de serviços de saúde pública, incluindo a presença de medidas de proteção da saúde *versus* calor ou frio, tais como sistemas de alerta sanitário.

As populações se adaptam ao seu clima local – psicologicamente, culturalmente e comportamentalmente. Nas populações de latitude média, a declividade de relação entre temperaturas frias

e mortalidade se relacionou inversamente com a temperatura média no inverno (HEALY, 2003). Não está claro se, dentro da Europa, há uma diferença importante entre cidades mais quentes e mais frias no peso dos óbitos relacionados ao calor (KEATINGE *et al*, 2000). Em países de alta renda, a sensibilidade da mortalidade ao frio (LERCHL, 1998; CARSON *et al*, 2006) e ao calor (MEDINA-RAMON; SCHWARTZ, 2008; DONALDSON; KEATINGE; NAYHA, 2003; BARNETT, 2007) declinou em décadas recentes. Entretanto, a evidência da onda de calor de Paris em agosto de 2003 mostrou o impacto potencial, mesmo em um país de alta renda, quando a população é exposta a calor de intensidade e duração não habituais (FOUILLET *et al*, 2006).

Atualmente, a importância de saúde pública da mortalidade relacionada ao calor (COVATS; EBI, 2006) e ao frio (WILKINSON *et al*, 2004) está recebendo mais atenção na Europa e na América do Norte. Para o frio, os impactos sobre a mortalidade parecem se acumular no curso de um período de tempo mais longo e não há evidência clara de deslocamento da mortalidade em curto prazo (BRAGA; ZANOBETTI; SCHWARTZ, 2001). Não é possível quantificar os anos de vida perdidos em estudos de séries temporais, porém, há boa evidência de que, em geral, o deslocamento da mortalidade em curto prazo contribui para o excesso de óbitos atribuídos ao calor (PATTENDEN; NIKIFOROV; ARMSTRONG, 2003, HAJAT *et al*, 2006), enquanto que o excesso global dependerá das características de cada população em particular (HAJAT *et al*, 2005). Por razões fisiopatológicas, é improvável que o deslocamento da mortalidade em curto prazo possa contribuir para toda ou para a maioria da mortalidade por doença infecciosa relacionada ao calor ou eventos agudos (ataques cardíacos, acidentes vasculares cerebrais) nas idades mais avançadas. A evidência limitada disponível indica

### **As populações se adaptam ao seu clima local – psicologicamente, culturalmente e comportamentalmente**

que o deslocamento em curto prazo não contribui substancialmente para os óbitos relacionados ao calor em populações de baixa renda.

Os padrões de mortalidade relacionada à temperatura observados são influenciados por fatores climáticos e não climáticos. No futuro, as populações podem se tornar menos sensíveis aos efeitos do calor devido ao desenvolvimento econômico, embora um desenvolvimento rápido e não planejado possa ter efeitos adversos sobre fatores como saneamento, poluição do ar e habitação, que podem adicionar vulnerabilidade futura (HUQ *et al*, 2007). Este estudo sugere que populações em muitas cidades de países de baixa e média renda provavelmente apresentam vulnerabilidade substancial aos impactos diretos das mudanças climáticas nos extremos de temperatura. É necessária pesquisa mais extensa para melhorar a compreensão sobre os papéis moduladores de tais fatores, como qualidade de habitação, tecnologia, topografia local, design urbano e fatores comportamentais, bem como para melhorar a avaliação da capacidade adaptativa aos climas atuais e futuros.

## PRINCIPAIS MENSAGENS

- Em cidades com climas temperados, tropicais e subtropicais, a temperatura foi associada à mortalidade diária, com risco aumentado de mortalidade em ambos os extremos da distribuição da temperatura na maioria das cidades.
- Um limiar de calor mais elevado (a temperatura acima da qual o risco de mortalidade começa claramente a aumentar) foi observado em cidades com verões mais quentes, refletindo a adaptação da população.
- Outras diferenças nas associações de temperatura e mortalidade (declives e limiares) não se relacionaram aos vários fatores climáticos, socioeconômicos e demográficos que foram explorados.

- Populações em cidades de países de baixa e média renda são adversamente afetadas pelas altas temperaturas e, no futuro, podem ser especialmente vulneráveis aos impactos diretos de temperaturas mais extremas sob mudanças climáticas.

## AGRADECIMENTOS

A Lilian Dudley e Grant Ravenscroft, que contribuíram com a preparação dos dados para Cape Town, e a Tippawan Papramontol, que auxiliou com a coleta dos dados de Chiang Mai. Este trabalho foi financiado pelo Conselho Médico de Pesquisa do Reino Unido: impacto sobre a mortalidade de ondas de calor em países de baixa e média renda, doação G9900947; Prêmio Cientista de Carreira em Saúde Pública (NHS Executivo, CCB/BS/PHCS031) para Paul Wilkinson.


## REFERÊNCIAS

- ARMSTRONG, B. Models for the relationship between ambient temperature and daily mortality. *Epidemiology*, [S.l.], n. 17, p. 624–631, 2006.
- BARNETT, A. G. Temperature and cardiovascular deaths in the US elderly: changes over time. *Epidemiology*, [S.l.], n. 18, p. 1–4, 2007.
- BASU, R.; SAMET, J. The relationship between elevated ambient temperature and mortality: a review of the epidemiological evidence. *Epidemiol Rev*, [S.l.], n. 24, p. 190–202, 2003.
- BRAGA, A. L. F.; ZANOBETTI, A.; SCHWARTZ, J. The time course of weather-related deaths. *Epidemiology*, [S.l.], n. 12, p. 662–667, 2001.
- \_\_\_\_\_. Do respiratory epidemics confound the association between air pollution and daily deaths? *Eur Respir J*, [S.l.], n. 16, p. 723–728, 2000.
- BRUMBACK, B. A. Transitional regression models, with application to environmental time series. *J Am Stat Assoc*, [S.l.], n. 95, p. 16–27, 2000.
- CARSON, C. et al. Declining vulnerability to temperature-related mortality in London over the twentieth century. *Am J Epidemiol*, [S.l.], n. 164, p. 77–84, 2006.

- CROPPER, M. L. et al. The health benefits of air pollution control in Delhi. *Am J Agric Econ*, [S.l.], n. 79, p. 1625–1629, 1997.
- CURRIERO, F. et al. Temperature and mortality in 11 cities of the Eastern United States. *Am J Epidemiol*, [S.l.], n. 155, p. 80–87, 2002.
- DOMINICI, F.; ZEGER, S.; SAMET, J. On the use of generalized additive models in time-series studies of air pollution and health. *Am J Epidemiol*, [S.l.], n. 156, p. 1–11, 2002.
- DONALDSON, G. C.; KEATINGE, W. R.; NAYHA, S. Changes in summer temperature and heat-related mortality since 1971 in North Carolina, South Finland, and Southeast England. *Environ Res*, [S.l.], n. 91, p. 1–7, 2003.
- FOUILLET, A. Excess mortality related to the August 2003 heat wave in France. *Int Arch Occup Environ Health*, [S.l.], n. 80, p. 16–24, 2006.
- HAJAT, S. et al. Impact of high temperatures on mortality: is there an added 'heat wave' effects? *Epidemiology*, [S.l.], n. 17, p. 632–638, 2006.
- HAJAT, S. et al. Mortality displacement of heat-related deaths: a comparison of Delhi, Sao Paulo and London. *Epidemiology*, [S.l.], n. 16, p. 613–620, 2005.
- HEALY, J. D. Excess winter mortality in Europe: a cross country analysis identifying key risk factors. *J Epidemiol Commun Health*, [S.l.], n. 57, p. 784–789, 2003.
- HONDA, Y. et al. Relationship between daily high temperature and mortality in Kyushu, Japan. *Jpn J Public Health*, [S.l.], n. 42, p. 260–268, 2007.
- HUQ, S. et al. Reducing risks to cities from disasters and climate change. Editorial. *Environ Urban*, [S.l.], n. 19, p. 3–15, 2007.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. *Climate change 2007: the physical science basis*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2007. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- JOHNSON, H. et al. The impact of the 2003 heatwave on mortality and hospital admissions in England. *Health Stat Q*, [S.l.], n. 25, p. 6–11, 2005.
- KEATINGE, W. R. et al. Winter mortality in relation to climate. *Int J Circumpolar Health*, [S.l.], n. 59, p. 154–159, 2002.
- KEATINGE, W. R. et al. Heat-related mortality in warm and cold regions of Europe: an observational study. *Br Med J*, [S.l.], n. 321, p. 670–673, 2000.
- KOVATS, R. S.; CAMPBELL-LENDRUM, D.; MATTHIES, F. Climate change and human health: estimating avoidable mortality and morbidity. *Risk Anal*, [S.l.], n. 25, p. 1409–1418, 2005.
- KOVATS, R. S.; EBI, K. L. Heatwaves and public health in Europe. *Eur J Public Health*, [S.l.], n. 16, p. 592–599, 2006.
- KOVATS, R. S.; KOPPE, C. Heatwaves: past and future impacts on health. In: EBI, K. L.; SMITH, J.; BURTON, I. (Ed.). *Integration of public health with adaptation to climate change: lessons learned and new directions*. Lisse: Taylor & Francis Group, 2005. p. 136–160.
- LERCHL, A. Changes in the seasonality of mortality in Germany from 1946 to 1995: the role of temperature. *Int J Biometeorol*, [S.l.], n. 42, p. 84–88, 1998.
- LEVY, J. I.; HAMMITT, J. K.; SPENGLER, J. D. Estimating the mortality impacts of particulate matter: what can be learned from between study variability. *Environ Health Perspect*, [S.l.], n. 108, p. 109–117, 2000.
- MEDINA-RAMON, M.; SCHWARTZ, J. *Temperature, temperature extremes and mortality: a study of acclimatisation and effect modification in 50 US cities*. *Occup Environ Med* 2008, in press.
- MCMICHAEL, A. J.; WOODRUFF, R. E.; HALES, S. Climate change and human health: present and future risks. *Lancet*, [S.l.], n. 367, p. 859–869, 2006.
- O'NEILL, M. Impact of control for air pollution and respiratory epidemics on the estimated associations of temperature and daily mortality. *Int J Biometeorol*, [S.l.], n. 50, p. 121–129, 2005.
- PATTENDEN, S.; NIKIFOROV, B.; ARMSTRONG, B. Mortality and temperature in Sofia and London. *J Epidemiol Commun Health*, [S.l.], n. 57, p. 628–633, 2003.
- RU"CKERL, R. Air pollution and inflammation (interleukin-6, C-reactive protein, fibrinogen) in myocardial infarction survivors. *Environ Health Perspect*, [S.l.], n. 115, p. 1072–1080, 2007.
- SCHWARTZ J. et al. Methodological issues in studies of air pollution and daily counts of death or hospital admissions. *J Epidemiol Commun Health*, [S.l.], n. 50 (Suppl 1), p. S3–11, 1996.
- STERN, N. *The economics of climate change: the stern review*. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- THOMPSON, S.; SHARP, S. Explaining heterogeneity in meta-analysis: a comparison of methods. *Stat Med*, [S.l.], n. 18, p. 2693–2708, 1999.
- WILKINSON, P. et al. Vulnerability to winter mortality in the elderly in Great Britain: population based study. *Br Med J*, [S.l.], n. 329, p. 647–651, 2004.

Artigo recebido em 30 de junho de 2011

e aprovado em 30 de setembro de 2011.



**Seção 6:  
Mudança climática  
e erradicação da  
pobreza e redução das  
desigualdades sociais**





# Potencial das tecnologias sociais para o enfrentamento das mudanças climáticas e para a promoção do desenvolvimento humano: um olhar sobre o semiárido baiano

*Andréa Cardoso Ventura\**

*Luz Fernandez\*\**

*Rebeca Trujillo\*\*\*<sup>1</sup>*

\* Doutoranda em Administração pela Universidade Federal da Bahia (UFBA); mestre em Administração pela UFBA e em Estudos Contemporâneos de América Latina pela Universidad Complutense de Madrid (UCM). Pesquisadora do Grupo de Pesquisa do NPGA/UFBA Governança Ambiental Global e Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. [andreaventurassa@gmail.com](mailto:andreaventurassa@gmail.com)

\*\* Doutoranda em Ingeniería Ambiental pela Universidad Politécnica de Madrid (UPM). [luzfernandezgarcia@yahoo.es](mailto:luzfernandezgarcia@yahoo.es)

\*\*\* Ingeniería Industrial pela Universidad Politécnica de Madrid (UPM). [rbk.larios@gmail.com](mailto:rbk.larios@gmail.com)

## Resumo

O mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL) foi desenhado pelo Protocolo de Kyoto com um duplo objetivo: ajudar os países desenvolvidos a cumprir seus objetivos de redução de emissões de gases do efeito estufa (GEE) e apoiar os países em desenvolvimento a obter desenvolvimento sustentável. Como resposta a muitas das críticas em relação à escassa contribuição dos MDL ao desenvolvimento humano, o presente artigo indaga o potencial das tecnologias sociais (TS) para se transformar em instrumentos efetivos de mitigação e/ou adaptação frente às mudanças climáticas no semiárido baiano. Como parte da metodologia, o artigo apresenta uma ferramenta analítica baseada em três filtros independentes. Os resultados destacam o grande potencial apresentado pelas TS, concluindo pela necessidade de discussão sobre sua incorporação no quadro de futuros instrumentos do regime climático pós-Kyoto.

**Palavras-chave:** Tecnologias sociais. Mudanças climáticas. Desenvolvimento humano. Mecanismos de desenvolvimento limpo. Semiárido baiano.

<sup>1</sup> N. do E.: Participou da elaboração deste artigo o professor doutor José Célio Silveira Andrade, pesquisador-líder do grupo de pesquisa Governança Ambiental Global (GAG) e Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), do qual os autores fazem parte. O grupo se dedica ao estudo da utilização dos projetos de MDL como instrumento de promoção de transferência de tecnologia entre os países desenvolvidos e em desenvolvimento, de tecnologias mais limpas e, por fim, de desenvolvimento sustentável. O grupo também conta com a participação de pesquisadores, colaboradores e estudantes de graduação e pós-graduação de instituições de ensino nacionais e internacionais. Entre elas, a Universidade Federal da Bahia, Universidade do Estado da Bahia, Universidade Estadual de Santa Cruz, Universidade Salvador, Universidade Jorge Amado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Universidade do Estado de Santa Catarina, Universidade de Fortaleza, Instituto de Estudos Avançados da United Nations University (Yokohama, Japão) e Universidad Politécnica de Madrid (Espanha).

José Célio Silveira Andrade é pós-doutor em Ciências Políticas e Relações Internacionais pela Université Laval (Québec, Canadá); doutor em Administração; graduado e mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal da Bahia (UFBA) e vice-coordenador do grupo de pesquisa Laboratório de Análise Política Mundial (Labmundo).

**Abstract**

*The Clean Development Mechanism (CDM) was designed by the Kyoto Protocol with a dual purpose: to help developed countries meet their targets of GHG emission reduction and to support developing countries in achieving sustainable development. In response to many of the criticisms of the insufficient contribution of the CDM to human development, this paper investigates the potential of Social Technologies (TS) to become effective instruments for the mitigation of, and/or adaptation to climate change in Bahia's semi-arid region. As part of the methodology, the paper presents a new analytical tool based on three independent filters. The results highlight the great potential of the TS, concluding with the need to discuss the incorporation of TS in future instruments of the Post-Kyoto climate regime.*

**Keywords:** *Social technologies. Climate change. Human development. Clean development mechanisms. Bahia semi-arid region.*

## INTRODUÇÃO

A mudança climática é o desafio decisivo do século XXI em matéria de desenvolvimento humano (PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO, 2007).

Toda a humanidade enfrenta riscos no médio e longo prazo, mas é evidente que os riscos e vulnerabilidades derivados da mudança climática tendem a se concentrar nas pessoas mais pobres do mundo, representando uma clara ameaça aos avanços para o cumprimento dos objetivos de desenvolvimento do milênio (ODM) (PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO, 2000).

O Protocolo de Kyoto (PK) foi, em 1997, o primeiro passo na resposta multilateral à mudança climática. Nele, estabelecem-se objetivos para a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) no período 2008-2012, tendo como referência os níveis de 1990. A necessidade de conciliar a luta contra a mudança climática e o desenvolvimento humano aparece como foco principal: “Proteger o sistema climático para o benefício das presentes e futuras gerações, de maneira equitativa e tendo em conta suas responsabilidades comuns, mas diferenciadas e respectivas capacidades” (Artigo 3.1). Desta forma, os compromissos vinculantes de redução estabelecidos em Kyoto só afetam aos países desenvolvidos ou em processo de transição a uma economia de mercado, que são os chamados “países Anexo I”.

Treze anos após a assinatura do PK e mais de cinco anos após o início de sua vigência, o papel dos países em desenvolvimento (os países “não Anexo I”) nas ações de mitigação das mudanças climáticas está indefinido. O que, sim, está claro é que, de alguma maneira, estas ações têm que contribuir para o seu desenvolvimento de uma maneira sustentável. Afirma o protocolo (Artigo 12.2) que o duplo objetivo dos mecanismos de desenvolvimento limpo (MDL) é: assistir aos países não incluídos

no Anexo I a atingir desenvolvimento sustentável e contribuir ao objetivo final da convenção, e assistir aos países do Anexo I a cumprir o seu compromisso de redução de emissões. Os MDL são um dos três

mecanismos flexíveis definidos no PK, sendo o único que vincula diretamente os países em desenvolvimento<sup>1</sup> com as ações de mitigação para as mudanças climáticas.

Em julho de 2011, mais de 3.300 MDL já haviam sido registrados pela junta diretora

do MDL e muitos mais estão ainda em processo de registro. Desta forma, durante os últimos anos, os MDL incorporaram-se como elemento-chave nos mercados de carbono, movimentando bilhões de euros. Apesar deste aparente sucesso, o mecanismo tem recebido muitas críticas e questionamentos. Existem numerosos estudos que mostram a existência de *trade-offs* entre os seus dois objetivos, concluindo que se favorece a redução de emissões ao menor custo, mas não a melhoria em desenvolvimento sustentável, a exemplo de Cosbey e outros (2005); Schneider (2007); Sutter e Parreño (2007); Guijarro, Lumbreras e Habert (2008).

Em um momento em que a atenção internacional está centrada em definir o que vai ocorrer quando acabar o período de vigência do PK, é evidente a necessidade de redefinir os instrumentos utilizados atualmente, de forma que, no futuro, estes garantam a realização de cobenefícios (benefícios adicionais ao da redução de emissões para o desenvolvimento sustentável) reais e mensuráveis nos países receptores de projetos.

O presente trabalho discute também um dos cobenefícios mais estudados no enquadramento

**Proteger o sistema climático para o benefício das presentes e futuras gerações, de maneira equitativa e tendo em conta suas responsabilidades comuns, mas diferenciadas e respectivas capacidades**

<sup>1</sup> O plano de ação de Bali, definido na COP 13, em 2008, introduz as ações de mitigação nacionalmente apropriadas para países em desenvolvimento (Nationally Appropriate Mitigation Actions, NAMA por sua sigla em inglês). Entretanto, ainda não estão definidas as ações aceitas como NAMA, sendo este um dos pontos-chave a serem discutidos em Durban, na COP 17, em dezembro de 2011. Para mais informações sobre NAMA ver Asselt e outros (2010).

do MDL: a transferência tecnológica. Diversos estudos analisam o papel dos instrumentos do PK para a transferência de tecnologia entre países (SERES, 2008; UNITED NATIONS FRAMEWORK ON CLIMATE CHANGE CONVENTION, 2010). No entanto, são muitas as vozes que, desde diferentes perspectivas, assinalam a necessidade de pesquisas mais profundas sobre esta transferência tecnológica, afirmando que, em muitas ocasiões, ao invés de gerar desenvolvimento humano, estes instrumentos estão criando uma dependência tecnológica nos países receptores. Existem estudos, ainda, que põem em relevância o fato de que os MDL não estão levando a melhor tecnologia disponível aos países receptores, mas sim a mais rentável (ANDRADE *et al.*, 2010). Desde a Conferência Mundial dos Povos sobre Mudança Climática e os Direitos da Mãe Terra, realizada em 2010, recusa-se a proposta de transferência tecnológica em condições de verticalidade, dos países ricos e produtores de maior poluição, para os países em processo de transformação social. Em seu lugar, propõe-se um livre intercâmbio de informação, conhecimentos e tecnologias, coordenado entre os governos e os povos, sob os princípios de solidariedade, reciprocidade, respeito, complementaridade, harmonia, transparência, equilíbrio e igualdade de condições.

Neste contexto, a investigação aqui apresentada analisa o potencial de um tipo de tecnologia desenvolvida e/ou aplicada em interação com a população local e apropriada por ela, para incidir na luta internacional frente à mudança climática. Conhecidas como tecnologias sociais (TS), elas apresentam um importante papel no desenvolvimento de muitas comunidades brasileiras. Ao longo do presente artigo, analisar-se-á, por um lado, se estas tecnologias estão realmente melhorando as condições de vida das comunidades onde foram implementadas e, por outro lado, a sua real capacidade para se converter em instrumentos de mitigação e/ou adaptação frente às mudanças climáticas. A investigação desenvolve-se

no semiárido baiano. Elegeu-se esta região do Brasil por dois motivos principais: o fácil acesso à informação sobre as TS implementadas em seu território e o fato de que, por suas condições climáticas especiais, as regiões semiáridas do planeta são especialmente vulneráveis aos efeitos da mudança climática, pelo que se esperava encontrar tecnologias que respondessem, de alguma maneira, às novas necessidades geradas pelas variações climáticas.

As conclusões obtidas na presente investigação confirmam o potencial das TS como uma possível via alternativa não excludente, mas complementar dos MDL na luta contra as mudanças climáticas. Ao longo dos itens seguintes, apresenta-se a revisão da literatura, a metodologia utilizada e os resultados obtidos com o objetivo final de contribuir para o atual debate internacional sobre o futuro regime pós-Kyoto, recomendando-se incorporar as TS nos futuros mecanismos, de forma que estes tenham um maior impacto sobre as comunidades locais que as implementam.

## REVISÃO DA LITERATURA: A EVOLUÇÃO DO CONCEITO DE TECNOLOGIA SOCIAL E O SEMIÁRIDO BAIANO

### A evolução do conceito de tecnologia social

As tecnologias sociais (TS) derivam do conceito de tecnologia apropriada (TA), que foi difundido especialmente na década de 1970 pelo Intermediate Technology Development Group (ITDG) com a ajuda do economista E.F. Schumacher (1990). Este grupo de *experts* defende como solução para combater a pobreza e permitir o desenvolvimento dos países mais desfavorecidos o uso de tecnologias que sejam sustentáveis: tecnologias que respeitem as necessidades humanas de um trabalho proveitoso e satisfatório, que minimizem o dano ao meio ambiente e que conservem a base dos recursos (MCROBIE, 1982). Baseavam-se em um processo

de difusão de tecnologias nos países em desenvolvimento que não implicasse grandes capitais nem tecnologia de ponta, como até o momento se tinha feito, mas que, ao mesmo tempo, fosse uma tecnologia competente que permitisse o desenvolvimento da indústria e da agricultura.

As principais características das TA seriam o baixo custo de produtos ou serviços finais e do investimento necessário para produzi-los, a pequena ou média escala, a simplicidade e os efeitos positivos que sua utilização traria para a geração de renda, saúde, emprego, produção de alimentos, nutrição, habitação, relações sociais e para o meio ambiente. De acordo com Dagnino (1976, p. 86), as TA seriam identificadas por “[...] um conjunto de técnicas de produção que utiliza de maneira ótima os recursos disponíveis de certa sociedade maximizando, assim, seu bem-estar”.

Entretanto, verificava-se que, na maioria dos casos, as tecnologias empregadas eram trazidas de países desenvolvidos para serem aplicadas nos países em desenvolvimento. O fato é que os modelos de desenvolvimento dos países avançados não funcionam em países com menor desenvolvimento econômico, um erro de transferência de tecnologia. Isto ocorreu porque, durante muito tempo, considerou-se a tecnologia como um fator culturalmente “neutro”, sem levar em conta as mudanças que pode implicar a introdução de dita tecnologia em uma determinada sociedade. É de fundamental importância que os processos de transferência aos futuros usuários deem especial importância à assimilação tecnológica das comunidades e à incorporação consciente e cotidiana da tecnologia aos seus costumes sociais e culturais. A transferência de tecnologias tem de ser um processo integral que inclua feições sociais, econômicas, técnicas e políticas, além de contar com a plena colaboração dos futuros beneficiários (NARVÁEZ, 1996).

**A transferência de tecnologias tem de ser um processo integral que inclua feições sociais, econômicas, técnicas e políticas, além de contar com a plena colaboração dos futuros beneficiários**

Conforme explicam Dagnino, Brandão e Novaes (2004), o conceito de TS é justamente uma evolução advinda das críticas e complementos realizados ao conceito de TA, visto serem essas últimas consideradas insuficientes para resolver os problemas sociais e ambientais, especialmente por estarem pautadas por influências e percepções de grupos de pesquisadores do primeiro mundo e, portanto, desprovidas de neu-

tralidade. Foi escassa a participação de cientistas de países em desenvolvimento na construção das TA. Ao incorporar aspectos culturais, sociais e políticos à discussão sobre o modelo tecnológico a ser adotado nos países em desenvolvimento, bem como ao criticar os contextos sociopolítico e econômico que até então emolduraram os debates sobre ciência, tecnologia e sociedade (CT&S), as TA possibilitaram novas visões sobre a temática.

Entretanto, ainda de acordo com os autores, os defensores das TA não perceberam que “[...] o desenvolvimento de tecnologias alternativas era condição apenas necessária – e não suficiente – para sua adoção pelos grupos sociais que pretendiam beneficiar” (DAGNINO; BRANDÃO; NOVAES, 2004, p. 28). Por esse motivo, as TA não teriam sido capazes de promover os conhecimentos necessários para que, com o envolvimento dos atores sociais interessados, houvesse a mudança do estilo de desenvolvimento.

Com isso, já na década de 1980, sob o forte impacto do sistema neoliberal e conseqüente aumento dos problemas sociais e ambientais existentes, passa-se a difundir a preocupação com bases tecnológicas que permitissem um desenvolvimento mais sustentável, a partir do conhecimento dos próprios atores sociais envolvidos na problemática. Surge, assim, o conceito de TS, entendidas, em sua versão mais difundida, como produtos, técnicas ou metodologias

com possibilidades de reaplicação, desenvolvidas e/ou aplicadas em interação com uma comunidade, que representam soluções de transformação social mediante o uso sustentável de recursos locais (REDE DE TECNOLOGIA SOCIAL, 2011). Este conceito supõe uma proposta inovadora, considerando a participação coletiva no processo de organização, desenvolvimento e implementação.

As TS localizar-se-iam na linha que marcou Dickson (1980), que afirma que, para conseguir que a tecnologia sirva como mecanismo de mudança social, deve-se instrumentar “tecnologias alternativas”: instrumentos, máquinas e técnicas necessárias para refletir e manter modos de produção social não opressores e não manipuladores e um relacionamento não explorador com respeito ao meio ambiente natural. Hernán Thomas (2008) define as TS como uma forma de desenhar, desenvolver, implementar e gerir tecnologia orientada a resolver problemas sociais e ambientais, gerando dinâmicas sociais e econômicas de inclusão social e de desenvolvimento sustentável.

Para Lassance e Pedreira (2004), as tecnologias sociais são aquelas tecnologias, matérias e procedimentos metodológicos declarados e validados, com um impacto social comprovado, desenvolvidos a partir de necessidades, com o fim de solucioná-las. Uma TS deve sempre considerar a realidade social local e estar, de forma geral, ligada a formas de organização coletiva. O Instituto de Tecnologia Social considera as TS como um conjunto de técnicas e metodologias transformadas, desenvolvidas e/ou aplicadas em interação com uma população e apropriadas por ela, que representam soluções para a inclusão social e melhoria das condições de vida. Elas tentam dar resposta, mediante uma solução tecnológica, a problemas sociais que existem. Isto é, ao invés do uso de tecnologias convencionais, tentam ser uma ponte entre demandas sociais e soluções mediante aplicação de conhecimento local (INSTITUTO DE TECNOLOGIA SOCIAL, 2007).

### **Breves considerações sobre o semiárido baiano**

Quando se fala de problemas sociais e ambientais, impossível não se pensar na situação enfrentada por regiões áridas e semiáridas, como é o caso do semiárido nordestino – que ocupa cerca de 48% da Região Nordeste – e, conseqüentemente, o baiano. Isto porque as secas prolongadas e a desertificação ocorrentes na região são responsáveis por perdas na agricultura e ameaças à biodiversidade, gerando impactos sociais, econômicos e também ambientais. A reflexão sobre a vulnerabilidade do semiárido torna-se ainda mais relevante quando se observa que, de acordo com as projeções do Intergovernmental Panel on Climate Change (2007) para os cenários de mudanças climáticas globais, e também com os estudos realizados no Brasil pelo Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2007) sobre o impacto dessas mudanças, a região semiárida brasileira será fortemente afetada pelo aquecimento global, visto que as chuvas deverão se tornar mais instáveis, a precipitação pluviométrica irá se reduzir e a evotranspiração aumentar.

Em realidade, os debates sobre as causas estruturais e conseqüências da miséria existente no semiárido nordestino iniciaram-se na segunda metade do século XX. Entretanto, conforme ressalta Silva (2006), até o início da década de 1980, a maioria das análises realizadas estiveram acompanhadas de julgamento superficial, pelo qual a miséria, a fome e o atraso econômico seriam resultado das condições adversas do clima.

A constatação de que os programas governamentais até então realizados<sup>2</sup>, desenvolvidos sob a crença de que a realidade ambiental local era um empecilho a ser superado, não solucionaram os graves problemas sociais e econômicos existentes, apenas criando ilhas de concentração

<sup>2</sup> Ao final da década de 1950, o Grupo de Trabalho para o Desenvolvimento do Nordeste (GTDN), coordenado pelo economista Celso Furtado, confirmou a ineficácia das ações governamentais de combate à seca, afirmando a reprodução das crenças de que a seca era responsável pelo subdesenvolvimento regional (SILVA, 2006).

de poder, fez surgir visões altamente críticas ao modelo, entendendo a necessidade do desenvolvimento de formas de se lidar com a realidade ambiental existente. Ainda de acordo com Silva (2006), as alternativas até então apresentadas expressam um modelo de desenvolvimento fundamentado no “progresso” técnico e no domínio da natureza. O novo discurso, amparado por um conjunto de organizações não governamentais (ONGs) e algumas instituições públicas de pesquisa e extensão rural, afirma a existência de alternativas sustentáveis de desenvolvimento para o semiárido nordestino.

Para Nascimento (2008), a noção de “convivência com o semiárido” não representa apenas uma resposta à estiagem, característica peculiar das áreas semiáridas nordestinas. Ela “[...] incorpora modos e técnicas de *saber-fazer* capitaneadas por governos, organizações e atores locais que refletem contextos sócio-espaciais específicos e interesses em disputa em torno da questão do desenvolvimento” (NASCIMENTO, 2008, p. 2). Assim, ela não pode ser reduzida ao seu aspecto socioeconômico, devendo ser observada, também, como uma concepção socioespacial que traduz uma forma de interação homem-território-natureza.

Um dos principais marcos deste novo pensar sobre o semiárido deu-se no final da década de 1990, com a constituição da Articulação no Semiárido (ASA), englobando, à época, cerca de 50 organizações não governamentais. A ASA viria a lançar, durante a realização da III Conferência das Partes das Nações Unidas da Convenção de Combate à Desertificação (COP 3), em 1999, a Declaração do Semiárido, em que afirma que a convivência com as condições do semiárido brasileiro e, em particular, com as secas é possível, sendo necessário o equilíbrio entre a sustentabilidade ambiental e a qualidade de vida das famílias (ARTICULAÇÃO NO SEMI-ÁRIDO BRASILEIRO, 2010).

Entre as principais ações resultantes da articulação de saberes em prol da convivência com o semiárido, capitaneada pela ASA, está o Programa Um

Milhão de Cisternas (P1MC), criado em 2003 como parte das ações do Programa de Formação e Mobilização Social para a Convivência com o Semiárido, e que já construiu, de forma participativa, mais de 300 mil cisternas no Nordeste semiárido brasileiro, beneficiando mais de 1,5 milhão de pessoas com água para o consumo humano (ARTICULAÇÃO NO SEMI-ÁRIDO BRASILEIRO, 2011). Desta experiência, surgiu o Programa Uma Terra Duas Águas (P1+2), que explora o desenvolvimento de técnicas, métodos e procedimentos de captação de água para a produção animal e de alimentos.

As inovações utilizadas nos dois programas, a exemplo das cisternas de placas e calçadão e da construção de barragens subterrâneas, estão entre as tecnologias sociais mais premiadas e divulgadas no Brasil (NÚCLEO DE POLÍTICA E ADMINISTRAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 2010), justificando, assim, a seleção das TS implementadas no semiárido baiano como objeto de investigação do presente projeto. De acordo com as premiações analisadas, trata-se de práticas e tecnologias consideradas mais apropriadas à realidade local, possibilitando a integração harmoniosa entre meio ambiente e sociedade. Restava, assim, a análise sobre a efetiva participação dessas tecnologias sociais no duplo propósito de contribuição para o desenvolvimento humano e para o enfrentamento das mudanças climáticas.

## HIPÓTESES E METODOLOGIA DE INVESTIGAÇÃO

### Hipótese

Através da presente investigação, pretende-se analisar o potencial das tecnologias sociais como instrumentos que, no enquadramento da luta contra as mudanças climáticas, têm um impacto positivo no desenvolvimento humano das comunidades que as implementam. Neste contexto, definem-se duas hipóteses de partida para o estudo:

- Hipótese 1 – As tecnologias sociais têm um impacto positivo nas condições de vida das pessoas vivendo nas comunidades que as implementam.
- Hipótese 2 – As tecnologias sociais são um instrumento efetivo na luta contra as mudanças climáticas.

### Metodologia de investigação

A metodologia utilizada para a presente investigação envolveu três fases. Primeiramente, buscou-se identificar os principais conceitos utilizados em documentos acadêmicos (teses, dissertações, livros e artigos científicos) e de instituições de C&T para caracterizar as TS. Esta etapa, realizada com o apoio do software Vantage Point, identificou que o conceito mais amplamente utilizado no Brasil para a caracterização de experiências e projetos de TS é o desenvolvido pela Rede de Tecnologia Social (RTS), que, conforme citado acima, as compreende como “[...] produtos, técnicas ou metodologias reaplicáveis, desenvolvidas na interação com a comunidade e que devem representar efetivas soluções de transformação social” (REDE DE TECNOLOGIA SOCIAL, 2010). Nesta etapa, identificaram-se, também, as principais características consideradas necessárias para a constituição de uma TS, quais sejam: (i) baixa inversão econômica; (ii) uso de recursos locais; (iii) interação com a comunidade; e (iv) elas serem passíveis de replicação.

De posse destes elementos, passou-se à identificação, entre editais, prêmios e certificações de C&T e de projetos de desenvolvimento focados na transformação social, de quais teriam, entre suas exigências, descritas em seus respectivos documentos de normas e procedimentos, as características identificadoras de TS. Chegou-se, assim, a 20 prêmios, editais e programas de apoio realizados no Brasil ou na América Latina direta ou indiretamente ligados a TS e que continham, entre suas exigências para premiação ou certificação, as características acima mencionadas.

A segunda fase da metodologia compreendeu a análise documental (descrição das TS localizadas nos websites das instituições responsáveis e enviadas aos investigadores, revistas sobre a temática, textos científicos mencionando TS, livros etc.) de todas as TS identificadas nos prêmios e editais acima mencionados. Chegou-se, assim, a 11<sup>3</sup> prêmios ou editais que haviam contemplado, entre as experiências de reconhecidas características de TS, iniciativas realizadas no estado da Bahia, dos quais somente seis permitiram dados suficientes para as análises necessárias.

Os dados levantados foram tabulados com auxílio do aplicativo Excel. Realizaram-se o lançamento e a análise dos dados relativos a: (i) técnica, método ou procedimento adotado; (ii) categoria do problema social ou ambiental a ser minimizado pela iniciativa; (iii) instituição executora da TS; (iv) tipologia da instituição executora; (v) instituições parceiras; (vi) municípios de implantação; (vii) contribuição para o enfrentamento das mudanças climáticas (mitigação ou adaptação). Com isso, foi possível realizar a contagem de 125 tecnologias sociais implantadas no estado. É necessário ressaltar, no entanto, que as análises realizadas indicaram forte possibilidade de que uma mesma TS tenha sido inscrita em prêmios ou editais diferentes com nomes distintos. Dessa forma, é possível a existência de um número menor de TS implantadas no estado. Essa verificação somente seria possível com o aprofundamento das investigações. Ressalta-se, ainda, que a análise

<sup>3</sup> Relação dos 11 prêmios e editais nos quais foram identificadas experiências na Bahia, estando marcados com asterisco aqueles cujos documentos puderam ser analisados: Prêmio Finep de Inovação (categoria de Tecnologia Social); \*Prêmio Mercosul de Ciência e Tecnologia (edição de 2006 - Tecnologias para Inclusão Social); \*Prêmio Fundação Banco do Brasil de Tecnologias Sociais; Prêmio Objetivos do Milênio - ODM Brasil; \*Programa de Apoio a Tecnologias Sociais e Ambientais da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia; \*Mostra de Tecnologias Sociais da Rede de Tecnologias Sociais; Edital para Tecnologias Sociais para Segurança Alimentar, realizado pelo Ministério de Ciência e Tecnologia; \*Programa Experiências em Inovação Social na América Latina e Caribe; Prêmio Rosani Cunha de Desenvolvimento Social; \*Melhores Práticas em Gestão Local da Caixa Econômica Federal; Banco de Dados da Red de Intercambio y Difusión de Experiencias Exitosas para Alcanzar los ODM.



documental dessas 125 TS não permitiu a coleta de todos os seis elementos acima descritos em todos os casos.

Passou-se, assim, à identificação, entre as TS relacionadas, daquelas desenvolvidas no semiárido do estado. Tendo em vista os sérios problemas sociais e ambientais existentes na região, analisaram-se, exclusivamente, as TS que possuíam dados sobre o município onde foram implantadas. Foi realizada, então, a confrontação entre a lista dos municípios com TS e a relação de 265 municípios<sup>4</sup> de clima semiárido do estado, fornecida pelo Ministério da Integração Regional (BRASIL, 2005). Através desta confrontação, foi possível perceber que há 31 diferentes tipos de TS presentes em 95 municípios (37%) do semiárido baiano. Em 29% dos municípios onde se identificaram TS no semiárido, havia mais de uma tecnologia implantada.

A identificação prévia do potencial de contribuição das TS do semiárido para a minimização da problemática das mudanças climáticas foi realizada através da aplicação de modelo analítico proposto por Ventura, Andrade e Almeida (2010). A aplicação do modelo permitiu a escolha de experiências de TS que seriam investigadas na terceira fase da pesquisa, representada pelas visitas de campo, para verificação de sua contribuição dupla de enfrentamento das mudanças climáticas globais e promoção de desenvolvimento humano. Chegou-se, assim, às seguintes TS com relevante interesse para a pesquisa, representadas na Tabela 1.

Uma vez selecionadas aquelas TS com potencial de incidir na luta frente às mudanças climáticas, realizou-se a terceira fase da investigação: os estudos de caso. Das 12 tecnologias sociais identificadas, visitaram-se nove, utilizando-se como critérios para a seleção destas nove TS a acessibilidade e a possibilidade de reapplicabilidade da experiência. Esta análise em terreno teve como

objetivos: (i) verificar se as tecnologias selecionadas via análise documental cumpriam com todos os requisitos necessários para ser consideradas como TS; (ii) verificar se as tecnologias selecionadas estavam realmente contribuindo na luta contra as mudanças climáticas; (iii) verificar se as TS selecionadas estavam melhorando as condições de vida das comunidades em que se encontravam instaladas. Com o fim de responder a este triplo objetivo, como parte da investigação, desenvolveu-se uma nova ferramenta baseada em três filtros independentes, descritos em seguida.

**Tabela 1**  
**Tecnologias sociais consideradas relevantes para a pesquisa**

Nome da tecnologia social	Nome do projeto	Tipologia da TS
Bombas Ema	Bombas Ema	Água/Saúde
Cisternas de placas	Programa Água e Cidadania no Semiárido da Bahia	Água/Saúde/Educação
Bombas BAP	Bomba D'Água Popular (BAP)	Água
Policultura no semiárido	Policultura no Semiárido	Alimentação/Meio Ambiente
Produção agroecológica	Produção Agroecológica Integrada (Pais)	Alimentação/Renda
Gestão participativa de recursos hídricos	Gestão Participativa dos Recursos Hídricos na Bacia do Rio Jiquiriçá	Meio Ambiente
Saneamento, educação ambiental e cidadania	Projeto Saneamento, Educação Ambiental e Cidadania em Pintadas	Água/Infraestrutura
Biodigestores	Biodigestor Coletivo para Atividades Produtivas Sustentáveis em Assentamento	Energia/Meio Ambiente/Renda
Secador solar	Secador solar	Renda/Alimentação
Agricultura orgânica irrigada	Tecnologias Sociais de Adaptação às Mudanças Climáticas (Pintadas Solar)	Água / Alimentação
Barragem subterrânea	Barragem subterrânea	Água/Alimentação
Fogões eficientes	Fogões eficientes	Saúde/Meio Ambiente

Fonte: Elaboração própria.

<sup>4</sup> Sessenta e três por cento dos municípios da Bahia são considerados de clima semiárido.

A complexidade para identificar se um projeto é uma TS é elevada, visto que, além dos aspectos científico-tecnológicos complexos, envolve propriedades sociais como participação cidadã, educação e sustentabilidade. Dessa forma, o primeiro filtro foi definido para garantir que um projeto apresente as características imprescindíveis para poder ser considerado como TS. A Tabela 2 apresenta as características levantadas na revisão bibliográfica e na análise documental. É imprescindível apresentar todas as características para ser considerada TS, superar este filtro e continuar com a aplicação da ferramenta.

<b>Tabela 2</b> <b>Primeiro filtro da ferramenta</b> <b>Identificação de tecnologias sociais</b>	
<b>Primeiro filtro</b> <b>Check list para identificação de tecnologias sociais</b>	
Baixo investimento econômico	Sim/Não
Uso de recursos locais	Sim/Não
Interação com a comunidade	Sim/Não
Possibilidade de replicabilidade	Sim/Não

Fonte: Elaboração própria.

O segundo filtro foi desenvolvido para selecionar, dentre as TS que passaram pelo filtro 1, as que contribuem de maneira direta com a luta contra as mudanças climáticas. Neste caso, observou-se o potencial da tecnologia para se considerar como uma medida de mitigação e/ou de adaptação, conforme Tabela 3.

<b>Tabela 3</b> <b>Segundo filtro da ferramenta – Contribuição para o</b> <b>enfrentamento das mudanças climáticas</b>	
<b>Segundo filtro</b> <b>Check list para mitigação e/ou adaptação</b>	
O projeto analisado representa uma mudança de ações em tecnologias tradicionais da comunidade, motivada por alguma causa relacionada com as mudanças climáticas, diminuindo, assim, a vulnerabilidade da população	Sim/Não
O projeto analisado apresenta medidas dirigidas à redução das emissões de GEE ou aumenta a captura de CO <sub>2</sub> .	Sim/Não

Fonte: Elaboração própria.

Finalmente, às TS com potencial na luta contra as mudanças climáticas se aplicou um terceiro filtro, para medir, mediante um sistema de princípios, critérios e indicadores, o seu impacto sobre as condições de vida das comunidades. Este terceiro filtro representa a principal novidade da ferramenta. Até o momento, não existem metodologias definidas especificamente para avaliar o impacto das TS sobre o desenvolvimento humano. Esta etapa da ferramenta foi construída a partir de modelo denominado Sustainability & Empowerment Framework, desenvolvido para medir o impacto dos MDL nas comunidades que os implementaram (FERNÁNDEZ; LUMBRERAS, 2011). A ferramenta se baseia em uma série de princípios, critérios, indicadores e valorações possíveis dos indicadores (ver Tabela 4).

Os princípios representam os objetivos principais que definem os desempenhos estabelecidos no marco conceitual do que se entende por “desenvolvimento humano”, estando ligados às questões de desenvolvimento social, ambiental, econômico e de empoderamento. Cada princípio é composto por um conjunto de três critérios definidos como as condições a serem alcançadas através dos processos e políticas relacionados aos projetos estudados. Já os indicadores representam os aspectos mensuráveis destes critérios e princípios. Os indicadores são valorados com base em uma pontuação determinada segundo: (i) a informação recolhida nas visitas aos projetos; (ii) as entrevistas semiestruturadas realizadas aos diferentes atores envolvidos nos projetos (desenvolvedores de tecnologia, financiadores, beneficiários finais, autoridades locais etc.); e (iii) mediante a informação obtida na fonte na qual se encontrou o registro da TS. As pontuações de cada indicador permitem calcular para cada projeto o impacto médio por critério, por princípio e um valor global do projeto.

O impacto médio por critério calcula-se fazendo a média aritmética das pontuações dos indicadores não nulos que definem o critério. Considera-se que os indicadores que têm valor nulo não estão

Tabela 4 Terceiro filtro da ferramenta – contribuições da tecnologia social ao desenvolvimento humano			
Terceiro filtro			
Princípio	Critério	Indicador	Pontuação
Econômico	Desenvolvimento econômico local	<ul style="list-style-type: none"> <li>Impacto na promoção de turismo (negativo/ nulo/ positivo baixo/ positivo médio/ positivo alto)</li> <li>Impacto na migração (negativo/ nulo/ positivo baixo/ positivo médio/ positivo alto)</li> <li>Ativação econômica local (negativo/ nulo/ positivo baixo/ positivo médio/ positivo alto)</li> <li>Contratação de fornecedores locais de equipamentos, materiais, recursos etc. (negativo/ nulo/ positivo baixo/ positivo médio/ positivo alto)</li> </ul>	1: negativo / 0: nulo/ +1: positivo baixo/ +2: positivo médio/ +3: positivo alto
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Número de empregos gerados (negativo/ nulo/ positivo baixo/ positivo médio/ positivo alto)</li> <li>Empregos gerados para grupos vulneráveis como mulheres e jovens (negativo/ nulo/ positivo baixo/ positivo médio/ positivo alto)</li> <li>Continuidade do emprego gerado (curto prazo = positivo baixo / a longo prazo = positivo alto)</li> <li>Tipo de trabalho gerado (não qualificado = positivo baixo/ qualificado = positivo alto)</li> </ul>	- 1: negativo / 0: nulo/ +1: positivo baixo/ +2: positivo médio/ +3: positivo alto
	Sustentabilidade econômica	<ul style="list-style-type: none"> <li>Amortização do investimento (negativo/ nulo/ positivo baixo/ positivo médio/ positivo alto)</li> </ul>	- 1: negativo / 0: nulo/ +1: positivo baixo/ +2: positivo médio/ +3: positivo alto
Social	Acesso a serviços básicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Impacto na infraestrutura local (negativo/ nulo/ positivo baixo/ positivo médio/ positivo alto)</li> <li>Impacto na existência, acesso e confiabilidade dos serviços energéticos (negativo/ nulo/ positivo baixo/ positivo médio/ positivo alto)</li> </ul>	- 1: negativo / 0: nulo/ +1: positivo baixo/ +2: positivo médio/ +3: positivo alto
	Saúde e saneamento básico	<ul style="list-style-type: none"> <li>Impacto no serviço sanitário recebido (negativo/ nulo/ positivo baixo/ positivo médio/ positivo alto)</li> <li>Impacto nas condições de saúde (negativo/ nulo/ positivo baixo/ positivo médio/ positivo alto)</li> <li>Redução da exposição à poluição (negativo/ nulo/ positivo baixo/ positivo médio/ positivo alto)</li> <li>Acesso à água potável (negativo/ nulo/ positivo baixo/ positivo médio/ positivo alto)</li> </ul>	
	Educação	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tempo das crianças na escola (negativo/ nulo/ positivo baixo/ positivo médio/ positivo alto)</li> <li>Tempo utilizado pelas crianças nos estudos (negativo/ nulo/ positivo baixo/ positivo médio/ positivo alto)</li> <li>Material/Recursos para facilitar a educação (negativo/ nulo/ positivo baixo/ positivo médio/ positivo alto)</li> <li>Formação técnica para facilitar a inserção laboral (negativo/ nulo/ positivo baixo/ positivo médio/ positivo alto)</li> </ul>	- 1: negativo / 0: nulo/ +1: positivo baixo/ +2: positivo médio/ +3: positivo alto
Empoderamento	Transferência de tecnologia	<ul style="list-style-type: none"> <li>Transferência de conhecimento tecnológico à comunidade (negativo/ nulo/ positivo baixo/ positivo médio/ positivo alto)</li> <li>Garantia de manutenção local da tecnologia (negativo/ nulo/ positivo baixo/ positivo médio/ positivo alto)</li> </ul>	- 1: negativo / 0: nulo/ +1: positivo baixo/ +2: positivo médio/ +3: positivo alto
	Atores envolvidos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rol de atores consultados de maneira prévia ao início do projeto (negativo/ nulo/ positivo baixo/ positivo médio/ positivo alto)</li> <li>Nível de aceitação do projeto (negativo/ nulo/ positivo baixo/ positivo médio/ positivo alto)</li> </ul>	- 1: negativo / 0: nulo/ +1: positivo baixo/ +2: positivo médio/ +3: positivo alto
	Capital social	<ul style="list-style-type: none"> <li>Associações sociais criadas por razão direta ou indireta do projeto (negativo/ nulo/ positivo baixo/ positivo médio/ positivo alto)</li> </ul>	- 1: negativo / 0: nulo/ +1: positivo baixo/ +2: positivo médio/ +3: positivo alto

**Tabela 4**  
**Terceiro filtro da ferramenta – contribuições da tecnologia social ao desenvolvimento humano**

Terceiro filtro			
Princípio	Critério	Indicador	Pontuação
Meio ambiente	Saúde ambiental e segurança	▪ Redução de odores nocivos (negativo/ nulo/ positivo baixo/ positivo médio/ positivo alto)	1: negativo / 0: nulo/ +1: positivo baixo/ +2: positivo médio/ +3: positivo alto
		▪ Redução do risco de incêndio (negativo/ nulo/ positivo baixo/ positivo médio/ positivo alto)	
	Aspectos de meio ambiente	▪ Melhora da qualidade do ar pela redução de gases do efeito estufa (negativo/ nulo/ positivo baixo/ positivo médio/ positivo alto)	1: negativo / 0: nulo/ +1: positivo baixo/ +2: positivo médio/ +3: positivo alto
▪ Qualidade e quantidade de água (negativo/ nulo/ positivo baixo/ positivo médio/ positivo alto)			
▪ Desflorestação e/ou erosão do solo (negativo/ nulo/ positivo baixo/ positivo médio/ positivo alto)			
▪ Gestão de resíduos (negativo/ nulo/ positivo baixo/ positivo médio/ positivo alto)			
Conscientização/ Educação ambiental		▪ Impacto no volume de alimentos/ cultivos produzidos na comunidade (negativo/ nulo/ positivo baixo/ positivo médio/ positivo alto)	1: negativo / 0: nulo/ +1: positivo baixo/ +2: positivo médio/ +3: positivo alto
		▪ Aumento na conscientização sobre temas ambientais (negativo/ nulo/ positivo baixo/ positivo médio/ positivo alto)	

Fonte: Adaptada de Fernandez e Lumbreras (2011).

dentro do campo de impacto da TS e, portanto, não devem ser levados em conta para não penalizar o restante de indicadores que apresentam impacto. Os critérios que têm algum indicador com pontuação negativa automaticamente passam a ter esse valor negativo. É por isto que, frente aos três possíveis valores positivos (1, 2, 3), existe só um possível valor negativo (-1).

A soma aritmética dos valores dos três critérios de cada princípio dá o valor global do dito princípio. Para a valoração global do projeto, calcula-se o valor realizando a soma dos impactos médios de todos os critérios (ao todo, 12 critérios), dividindo o resultado por 36, que seria o total possível deste valor. Além disso, realizou-se uma valoração global ponderada tomando em conta a percentagem de indicadores com impacto que apresentava cada tecnologia em cada critério. Assim, se realizou uma nova valoração global das TS mediante a seguinte fórmula:

Valoração global do projeto =

$$\frac{\sum_{i=1}^{i=12} (\text{Impacto médio critério} * \text{Porcentagem indicadores})}{36} \times 100$$

## RESULTADOS

Dos nove projetos visitados, todos passaram pelo primeiro e segundo filtros da ferramenta, com o que se assegurou que, tal e como extraído da análise documental, todos os projetos eram TS e todos tinham impacto positivo nas mudanças climáticas, seja com medidas de adaptação ou de mitigação.

Os resultados que se apresentam a seguir são os obtidos ao aplicar a estas tecnologias sociais o terceiro filtro da ferramenta. Neste artigo, mostraram-se os resultados das três TS que obtiveram uma maior pontuação e, portanto, daquelas que têm um maior impacto positivo sobre as condições de vida das comunidades que as implementaram.

- Bomba D'Água Popular (BAP) – Esta tecnologia surgiu como uma solução para dar funcionamento a poços criados nos anos 1980, perfurados em áreas de subsolo cristalino, mas com baixa produção de água. Bem utilizados, poderiam ser a solução para a realidade de escassez. A bomba, construída em posição lateral ao poço, supõe um mecanismo de abastecimento de água durante todo

o ano, mesmo em época de maior escassez de chuvas, para o uso doméstico das comunidades em quantidade e qualidade aceitáveis, irrigação de propriedades agrícolas e criação de animais. Ela pode funcionar 24 horas por dia sem custo algum, visto ser impulsionada pela ação humana. Sua manutenção é extremamente simples, sendo realizada pelos próprios produtores locais, que são devidamente capacitados pelo projeto. As BAP foram incorporadas às tecnologias utilizadas pelo programa de convivência com o semiárido, Programa Uma Terra Duas Águas (P1+2), que vem sendo desenvolvido pela Articulação do Semiárido (ASA) para garantir água para o consumo humano e produção animal e vegetal. As BAP visitadas localizavam-se no município de Cansanção.

- Fogão ecológico – Este projeto começou em 2002, apoiado pelo Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (Sebrae) e pelo governo municipal, em Santa Brígida. A Aghenda, ONG parceira do Sebrae e apoiadora dos artesãos locais, fez a doação de três fogões ecológicos às comunidades. A associação de artesãos, composta por 18 mulheres, seis homens, além de jovens e outras pessoas maiores, utiliza os fogões no processo de tingimento da palha necessária à fabricação de objetos artesanais, em substituição aos fogareiros e fogões à lenha tradicionais da região, que utilizam grande quantidade de madeira nativa. O mesmo tipo de fogão foi adotado no estado do Ceará como parte das políticas públicas de convivência com o semiárido.
- Projeto Saneamento, Educação Ambiental e Cidadania em Pintadas – Pintadas, município de 11 mil habitantes, foi eleito pela rede internacional SouthSouthNorth e por outras quatro organizações brasileiras e italianas para desenvolver projeto de adaptação às mudanças climáticas. A tecnologia consiste

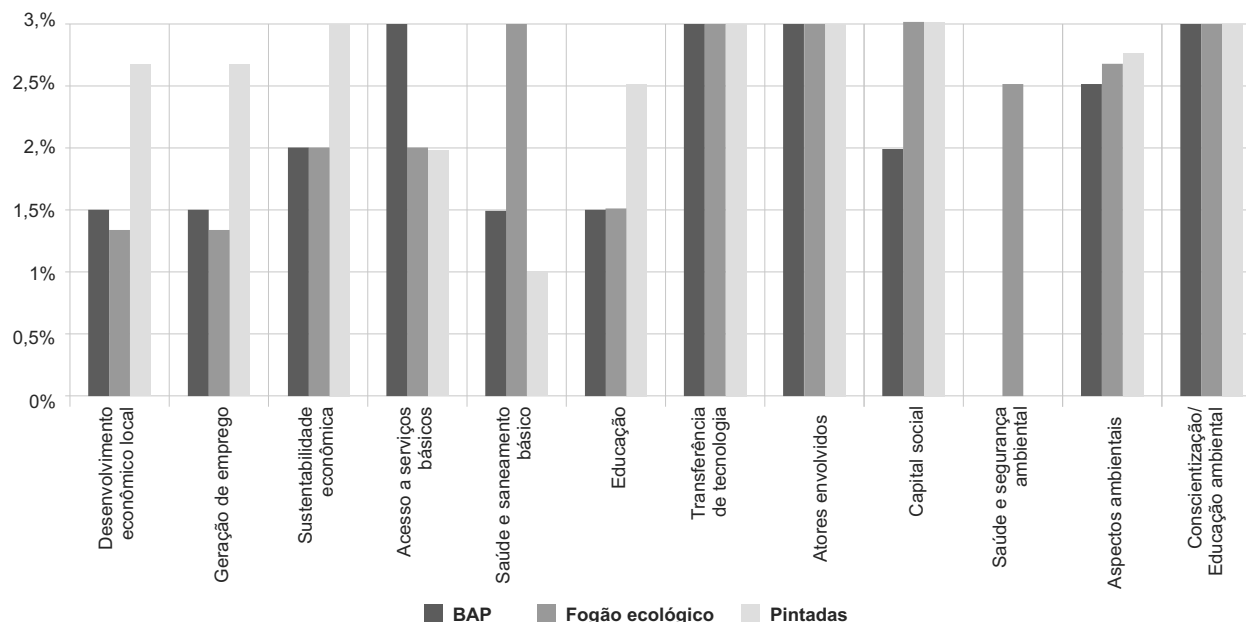
em placas fotovoltaicas que utilizam energia solar para acionar uma bomba que leva água a um tanque, de onde saem os canos para o sistema de irrigação da produção agrícola, elaborado com técnicas de gotejo ou hidroponia. Os agricultores aproveitam forragem vegetal para alimentar os animais e produzir alimentos de maneira mais agroecológica. O objetivo da tecnologia é garantir segurança alimentar e geração de renda baseada na pequena e média produção agrícola, sem destruir o ecossistema local. O projeto foi considerado uma boa prática pela organização Wisions, em 2006, e pelo Prêmio de Dubai UN–Habitat, em 2008. Recebeu também o prêmio SEDD 2008, escolhido, entre mais de 400 projetos do mundo, como uma das cinco práticas que merecem ser trabalhadas em larga escala.

O Gráfico 1 apresenta o valor obtido por cada um dos projetos em cada um dos critérios de análise anteriormente explicados. Este cálculo foi realizado mediante a média aritmética das pontuações dos indicadores não nulos. Portanto, o valor máximo que pode adquirir para cada critério é três.

Uma análise dos resultados por critério permite observar que, em geral, os projetos têm um impacto médio no desenvolvimento econômico local das comunidades e moderado na economia. Isto pode ser atribuído à sua pequena escala. No caso do projeto de Pintadas, o impacto obtido neste critério é maior, porque a TS está relacionada a uma produção agrícola e posterior produção industrial de polpa de frutas e leite, que traz benefícios consideráveis à situação econômica da comunidade.

Para o critério de sustentabilidade econômica, a maioria dos projetos apresenta uma relação custo/benefício adequada, tornando rentável o investimento econômico. O acesso a serviços está valorizado com uma alta pontuação dos dois projetos de água analisados localmente, como é o caso das bombas BAP. Também os projetos energéticos, como os fogões ecológicos e o projeto

POTENCIAL DAS TECNOLOGIAS SOCIAIS PARA O ENFRENTAMENTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS E PARA A PROMOÇÃO DO DESENVOLVIMENTO HUMANO: UM OLHAR SOBRE O SEMIÁRIDO BAIANO



**Gráfico 1**  
Contribuições das tecnologias sociais com impacto positivo ao enfrentamento das mudanças climáticas e ao desenvolvimento humano das comunidades

Fonte: Elaboração própria.

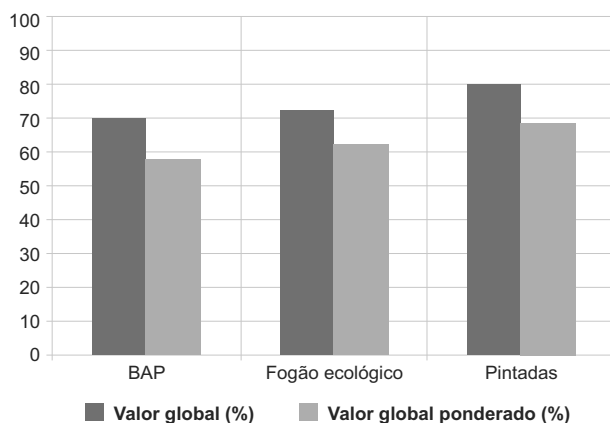
de Pintadas, supõem melhorias consideráveis no acesso a recursos energéticos. Os impactos das tecnologias na saúde e no saneamento básico têm um valor médio, sendo mais elevados nos projetos de água, como as bombas BAP, que nos de agricultura (Pintadas) porque implicam melhorias na qualidade e no acesso à água. Os projetos agrícolas provocam avanços na saúde porque garantem a segurança alimentar, um problema agravado na região semiárida nos últimos anos por causa dos impactos experimentados pela mudança climática. O projeto que tem mais incidência na saúde da comunidade é o fogão ecológico, já que implica a eliminação da inalação de fumaça. A educação vê-se melhorada em um nível médio graças à capacitação das pessoas e, em alguns casos, por aumentar a disponibilidade de tempo para a educação infantil.

Observa-se que a transferência de tecnologia, critério de suma importância na presente investigação, atinge valor máximo em todos os três projetos apresentados, cumprindo, desta forma, com a principal característica das tecnologias sociais.

A percepção dos atores é altamente positiva em todos os projetos. A comunidade aceita, acolhe e interioriza as tecnologias. Da mesma maneira, o capital social gerado a partir do desenvolvimento das TS é elevado, graças ao trabalho das organizações e ao movimento social de convivência com o semiárido, que fizeram com que a tecnologia faça parte da atividade cotidiana da comunidade.

O critério da melhoria da saúde e de segurança não se vê afetado pelo desenvolvimento dos projetos, exceto na tecnologia dos fogões ecológicos, que apresenta um impacto médio três, ao reduzir também consideravelmente o risco de incêndio nas moradias da comunidade. No entanto, todas as tecnologias têm um impacto muito elevado em relação aos aspectos de meio ambiente. Os projetos visitados contribuem para a redução de gases de efeito estufa, diminuem a erosão do solo ou promovem o aumento na produção de alimentos. Por último, comprovou-se durante as visitas aos projetos e as aplicações de entrevistas que, graças à participação em algumas atividades relacionadas com os projetos e desenvolvidas na própria comunidade, a

preocupação ambiental dos habitantes das comunidades é elevada e justificada pelos problemas cotidianos enfrentados frente aos aspectos climáticos da região semiárida.



**Gráfico 2**  
Valoração global e ponderada dos projetos de tecnologias sociais analisados

Fonte: Elaboração própria.

O Gráfico 2 apresenta a valoração global ponderada e não ponderada de cada um dos três projetos. Ditas valorações apresentam-se em forma de porcentagem com respeito à máxima pontuação possível.

Como se vê no Gráfico 2, não há grandes diferenças entre as valorações globais e as globais ponderadas de três projetos aqui apresentados. No entanto, quando se analisa um número maior de projetos e o objetivo final é levar a cabo uma hierarquização tendo como base a verificação da contribuição ao desenvolvimento, verifica-se que a ferramenta tem grande potencial para a identificação dos projetos com maior contribuição, possibilitando realizar uma priorização mais justa dos projetos.

Os altos valores obtidos (em todos os casos, acima dos 55%) confirmam a Hipótese 1 da pesquisa: as TS têm um impacto positivo nas condições de vida das pessoas vivendo nas comunidades que as implementaram. Neste caso, a tecnologia social com mais impacto positivo na contribuição ao desenvolvimento é o Projeto Saneamento, Educação Ambiental e Cidadania em Pintadas, com um valor de 70%. Depois das impressões e dados recolhidos

nas visitas em campo, pode-se destacar que esta tecnologia supõe um mecanismo ótimo de mitigação às mudanças climáticas (confirmação da Hipótese 2) pela introdução das bombas solares e, ao mesmo tempo, propõe medidas de adaptação à escassez de água da região mediante novas tecnologias de irrigação. O conjunto destas medidas dá como resultado um aumento da produção agrícola e de empregos incrementados pela produção industrial de polpas de frutas e leite, levando a uma melhoria das condições sociais.

## CONCLUSÕES E FUTUROS PASSOS

O presente estudo, com uma metodologia de investigação que combina a revisão bibliográfica, a análise documental e os estudos de caso, permitiu confirmar as suas duas hipóteses de partida. Desta forma, o estudo põe em relevância o grande potencial que apresentam as tecnologias sociais no semiárido baiano para incidir na luta contra a mudança climática, ao mesmo tempo em que melhoram as condições de vida das pessoas que vivem nas áreas de influência dos projetos analisados.

Uma das principais contribuições da investigação é o desenho e validação de uma ferramenta analítica que permite identificar as tecnologias sociais, analisar o seu potencial de incidência na luta frente às mudanças climáticas e identificar os benefícios sociais, econômicos e ambientais que geram.

O panorama internacional encontra-se em um momento de reflexão ante a iminente finalização do período de cumprimento do PK e a necessidade de definição do futuro dos mecanismos de flexibilidade, a partir de 1º de janeiro de 2013. Neste contexto, um dos maiores desafios enfrentados por políticos e pesquisadores de todo mundo é que os novos mecanismos cumpram com um objetivo dual que permita vincular a luta contra as mudanças climáticas e a necessidade de promoção de desenvolvimento humano. Este projeto pretende contribuir com um novo elemento de estudo a ser levado em conta

na hora de propor instrumentos no enquadramento pós-Kyoto: as tecnologias sociais.

As três tecnologias sociais estudadas demonstram que os projetos, tal e como estão sendo desenvolvidos na atualidade no contexto brasileiro, não têm um impacto econômico alto, mesmo que seja positivo. No entanto, o impacto social, ambiental e de empoderamento de ditas tecnologias é bem mais alto que o de outros projetos de características similares. Isto se deve, principalmente, ao fato de que, até agora, estão sendo desenvolvidos em pequena escala. Deste estudo, deduz-se que o estabelecimento de uma rede que replique e coordene esses projetos em larga escala possibilitaria uma contribuição maior no âmbito econômico, permitindo, ademais, ampliar o desenvolvimento e a difusão das TS de enfrentamento às mudanças climáticas. O estabelecimento deste tipo de rede alinha-se ao que está sendo negociado atualmente na UNFCCC para o enquadramento dos MDL como programas de atividades (PoAs), reunindo diversas atividades de menor escala que trazem redução de GEE.

A principal conclusão e recomendação que se pode extrair dessa situação é a necessidade de discussão sobre a incorporação das TS no novo arcabouço institucional do regime climático pós-Kyoto como um dos instrumentos de combate às mudanças no clima, contribuindo de fato para que os projetos de redução de GEE, negociados no mercado de carbono, promovam não apenas a transferência de tecnologias, mas também o desenvolvimento de tecnologias adequadas a cada realidade social e ambiental das comunidades anfitriãs. Recomenda-se que futuros estudos analisem o potencial de replicação dessas tecnologias sociais em outros contextos e escalas para além da regional incluída neste trabalho.

## REFERÊNCIAS

- ANDRADE, J. C. S. et al. Cleaner Technology and Sustainable Development in Brazil: contribution of CDM. In: ACADEMY OF MANAGEMENT ANNUAL MEETING. *Proceedings...*, Montreal-Canadá, 2010.
- ARTICULAÇÃO NO SEMI-ÁRIDO BRASILEIRO. *Cuidados que vão assegurar maior vida útil à Bomba de Água Popular (BAP)*. Juazeiro: ASA, 2010.
- \_\_\_\_\_. *Ações*. Disponível em: <<http://www.asabrasil.org.br>>. Acesso em: 20 jul. 2011.
- ASSSELT, H. et al. *Nationally appropriate mitigation actions (NAMAs) in developing countries: challenges and opportunities*. Report 500102 035 Netherlands Research Programme on Scientific Assessment and Policy Analysis for Climate Change WAB. 2010.
- BRASIL. Ministério da Integração Regional. Lista dos Municípios do Novo Semi-Árido por Unidade da Federação. *Relatório Final do Grupo Interministerial para Redelimitação do Semi-Árido Nordeste e do Polígono das Secas*. Brasília: MIR, jan. 2005.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Caracterização do Clima no Século XX e Cenários Climáticos no Brasil e na América do Sul para o Século XXI derivados dos Modelos Globais de Clima do 147 IPCC*, Brasília: MMA, fev. 2007. Relatório 1, Ministério do Meio Ambiente-MMA, Secretaria de Biodiversidade e Florestas – SBF, Diretoria de Conservação da Biodiversidade – DCBio Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade - Sub projeto: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI.
- COSBEY, A. et al. *Realizing the development dividend: making the CDM work for developing countries*. Phase 1 Report—Prepublication Version, International Institute for Sustainable Development (IISD), 2005. p. 1–72.
- DAGNINO, R. *Tecnologia apropriada: uma alternativa?*. 1976. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Economia, Universidade de Brasília, Brasília, 1976.
- DAGNINO, R.; BRANDÃO, F.; C.; NOVAES, H. T. N. Sobre o marco analítico-conceitual da tecnologia social. In: LASSANCE, A.; PEDREIRA, S. *Tecnologia social: uma estratégia para o desenvolvimento*. Rio de Janeiro: Fundação Banco do Brasil, 2004.
- DICKSON, D. *Tecnologia alternativa*. Madrid: H. Blume. 1980.
- FERNÁNDEZ, L.; LUMBRERAS, J. Exploring Co-Benefits of Clean Development Mechanism (CDM) Projects. *Energy Policy*, 2011. No prelo.
- GUIJARRO A.; LUMBRERAS J.; HABERT J. *The clean development mechanism and its contribution to human development: analysis of the situation and methodology to assess the impact on development*. Intermón Oxfam Research Paper, Nov., 2008.
- INSTITUTO DE TECNOLOGIA SOCIAL. *Conhecimento e cidadania*. [S.l.]: ITSBRASIL, fev. 2007. (Tecnologia social, 1). Disponível em: <[http://www.itsbrasil.org.br/sites/default/files/Digite\\_o\\_texto/Caderno\\_Serie\\_Conhecimento\\_e\\_Cidadania\\_-\\_Tecnologia\\_social\\_-\\_1.pdf](http://www.itsbrasil.org.br/sites/default/files/Digite_o_texto/Caderno_Serie_Conhecimento_e_Cidadania_-_Tecnologia_social_-_1.pdf)>. Acesso em: 19 jul. 2010.



INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. *Impacts, adaptation and vulnerability*. Working Group II Contributions to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for Policy Makers and Technical Summary. 2007.

LASSANCE, A.; PEDREIRA, S. *Tecnologia social: uma estratégia para o desenvolvimento*. Rio de Janeiro: Fundação Banco do Brasil, 2004.

MCROBIE, G. *The community's role in appropriate technology*. New York: Hildegarde Hannum, 1982.

NÚCLEO DE POLÍTICA E ADMINISTRAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA. *Relatório de pesquisa do projeto Mapeamento da Inovação no Estado da Bahia*: subprojeto Mapeamento e Caracterização das Tecnologias Sociais. Salvador: Universidade Federal da Bahia, 2010.

NASCIMENTO, H. M. A Convivência com o Semi-Árido e as Transformações Socioprodutivas na Região do Sisal – Bahia: por uma perspectiva territorial do desenvolvimento rural. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 46., 2008, Rio Branco. *Anais...*, Rio Branco, 2008.

NARVÁEZ, J. *Tecnologías apropiadas para el desarrollo sostenible*. Perú: ITACAB 1996.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO. *Objetivos do milênio*. New York: PNUD, 2000. Disponível em: <<http://www.pnud.org.br/odm/#>>. Acesso em: 1 fev. 2007

\_\_\_\_\_. *Combater as mudanças do clima: solidariedade humana em um mundo dividido*. New York: PNUD, 2007. Relatório sobre o Desenvolvimento Humano 2007/2008.

REDE DE TECNOLOGIA SOCIAL. *Conceito de tecnologia social*. Disponível em: <<http://www.rts.org.br/>>. Acesso em: 20 jul. 2011.

RODRIGUES, I.; BARBIERI, J. C. A emergência da tecnologia social: revisitando o movimento da tecnologia apropriada como estratégia de desenvolvimento sustentável. *Revista de Administração Pública*, Rio de Janeiro, v. 42, n. 6, p.1069-94, nov./dez. 2008.

SCHUMACHER, E. F. *Lo pequeño es hermoso*. Madrid: Hermann Blume Ediciones, 1990.

SCHNEIDER, L. *Is the CDM fulfilling its environmental and sustainable development objectives? An evaluation of the CDM and options for improvement*. Berlin, 2007. Report prepared for WWF.

SERES, S. *Analysis of technology transfer in CDM projects*. Bonn: United Nations Framework Convention for Climate Change Secretariat., 2008. Disponível em: <<http://cdm.unfccc.int/Reference/Reports/TTreport/TTrep08.pdf>>. Acesso em: 1 nov. 2010.

SILVA, R. M. A. *Entre o combate à seca e a convivência com o Semi-Árido: transições paradigmáticas e sustentabilidade do desenvolvimento*. 2006. 298 f. Tese (Doutorado) - Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

SUTTER, C.; PARREÑO, J. C.; Does the current clean development mechanism (CDM) deliver its sustainable development claim? An analysis of officially registered CDM projects. *Climatic Change*, v. 84, n. 1, p.75–90, 2007.

THOMAS, H. *Tecnologías para la inclusión social y políticas públicas en América Latina*. Canadá, 2008.

UNITED NATIONS FRAMEWORK ON CLIMATE CHANGE CONVENTION. *The Contribution of the clean development mechanism under the Kyoto protocol to technology transfer*. Bonn: UNFCCC, Nov., 2010. Disponível em: <<http://cdm.unfccc.int/Reference/Reports/TTreport/TTrep10.pdf>>. Acesso em: 30 mar. 2011.

\_\_\_\_\_. *Protocolo de Kyoto*. Disponível em: <[http://www.onu-brasil.org.br/doc\\_quioto2.php](http://www.onu-brasil.org.br/doc_quioto2.php)>. Acesso em: 31 jan. 2007.

VENTURA, A. C.; ANDRADE, J. C. S.; ALMEIDA, A. C. A. Soluções locais para problemas globais: análise de possíveis contribuições das tecnologias sociais para a mitigação do aquecimento global. ENCONTRO INTERNACIONAL SOBRE GESTÃO EMPRESARIAL E MEIO AMBIENTE, 12., 2010, São Paulo. *Anais...* São Paulo, 2010.

Artigo recebido em 23 de agosto de 2011  
e aprovado em 30 de setembro de 2011.



# Normas para publicação

## Os artigos devem:

- ser enviados por e-mail, preferencialmente, desde que os arquivos não excedam o limite de dois megabytes; acima desse limite, em mídia de CD-ROM;
- ser apresentados em editor de texto de maior difusão (Word), formatado com entrelinhas de 1,5, margem esquerda de 3 cm, direita e inferior de 2 cm, superior de 2,5 cm, fonte Times New Roman, tamanho 12;
- ser assinados por, NO MÁXIMO, três autores;
- incluir, em nota de rodapé, os créditos institucionais do autor, referência a atual atividade profissional, titulação, endereço para correspondência, telefone, e-mail;
- ter, no mínimo, 15 páginas e, no máximo, 25;
- vir acompanhado de resumo e *abstract* com, no máximo, dez linhas, entrelinha simples, contendo, quando cabível, tema, objetivos, metodologia, principais resultados e conclusões; abaixo do resumo e do *abstract*, incluir até cinco palavras-chave e *keywords*, separadas entre si por ponto e finalizadas também por ponto;
- apresentar padronização de título, de forma a ficar claro o que é TÍTULO e SUBTÍTULO; o título deve se constituir de palavra, expressão ou frase que designe o assunto ou conteúdo do texto; o subtítulo, apresentado em seguida ao título e dele separado por dois pontos, visa esclarecê-lo ou complementá-lo;
- contar com tabelas e demais tipos de ilustrações (desenhos, esquemas, figuras, fluxogramas, fotos, gráficos, mapas etc.), numeradas consecutivamente com algarismos arábicos, na ordem em que forem citadas no texto, com os títulos, legendas e fontes completas, e suas respectivas localizações assinaladas no texto;
- conter todo e qualquer tipo de ilustração acompanhado dos originais, sempre em tons de cinza, de forma a garantir fidelidade e qualidade na reprodução; se as fotografias forem digitalizadas, devem ser escaneadas em 300 dpis (CMYK) e salvas com a extensão TIFF; se for usada máquina digital, deve-se utilizar o mesmo procedimento com relação a dpi e extensão, de acordo com o item “Ilustrações” do Manual de Redação e Estilo da SEI, disponibilizado em [www.sei.ba.gov.br](http://www.sei.ba.gov.br), no menu “Publicações”;
- destacar citações diretas que ultrapassem três linhas, apresentado-as em outro parágrafo, com recuo de 4 cm à esquerda, tamanho de fonte 10 e sem aspas (NBR 10520:2002 da ABNT);
- quando da inclusão de depoimentos dos sujeitos, apresentá-los em parágrafo distinto do texto, entre aspas, com letra e espaçamento igual ao do texto e recuo esquerdo, de todas as linhas, igual ao do parágrafo;
- evitar as notas, sobretudo extensas, usando-as apenas quando outras considerações ou explicações forem necessárias ao texto, para não interromper a sequência lógica da leitura e não cansar o leitor;
- indicar as notas de rodapé por números arábicos, aparecendo, preferencialmente, de forma integral na mesma página em que forem inseridas;
- conter referências completas e precisas, adotando-se o procedimento informado a seguir.

## Referências:

No transcorrer do texto, a fonte da citação direta ou da paráfrase deve ser indicada pelo sobrenome do autor, pela instituição responsável ou pelo título da obra, ano e página. Quando incluída na sentença, deve ser grafada em letras maiúsculas e minúsculas e, quando estiver entre parênteses, deve ter todas as letras maiúsculas. Exemplos:

- A estruturação produtiva deveria se voltar para a exploração econômica de suas riquezas naturais, conforme esclarece Castro (1980, p. 152);
- “O outro lado da medalha dessa contraposição da Inglaterra civil e adulta às raças selvagens e de menoridade é o processo pelo qual a barreira, que na metrópole divide os servos dos senhores, tende a perder a sua rigidez de casta” (LOSURDO, 2006, p. 240).

No final do artigo, deve aparecer a lista de referências, em ordem alfabética, em conformidade com a norma NBR 6023:2002 da ABNT. Exemplos:

Para livros:

- BORGES, Jafé; LEMOS, Gláucia. *Comércio baiano*: depoimentos para sua história. Salvador: Associação Comercial da Bahia, 2002.

Para artigos e/ou matéria de revista, boletim etc.:

- SOUZA, Laumar Neves de. Essência x aparência: o fenômeno da globalização. *Bahia Análise & Dados*, Salvador, v. 12, n. 3, p. 51-60, dez. 2002.

Para partes de livros:

- MATOS, Ralfo. Das grandes divisões do Brasil à idéia do urbano em rede tripartite. In: \_\_\_\_\_. (Org.). *Espacialidades em rede*: população, urbanização e migração no Brasil contemporâneo. Belo Horizonte: C/Arte, 2005. p. 17-56.

Na lista de referências, os títulos dos livros devem aparecer sempre em itálico. Os subtítulos, apesar de citados, não recebem o mesmo tratamento. No caso de artigo/matéria de revista ou jornal, o itálico deve ser colocado no título da publicação. A lista de referências deve ser alinhada à esquerda, e conter apenas os trabalhos efetivamente utilizados na elaboração do artigo.

## Originais:

Os originais apresentados serão considerados definitivos. Caso sejam aprovados, as provas só serão submetidas ao autor quando solicitadas previamente. Serão, também, considerados como autorizados para publicação por sua simples remessa à Revista, não implicando pagamento de direitos autorais. A Coordenação Editorial, em caso de aceitação do texto, reserva-se o direito de sugerir ou modificar títulos, formatar tabelas e ilustrações, entre outras intervenções, a fim de atender ao padrão editorial e ortográfico adotado pela Instituição e expresso em seu Manual de Redação e Estilo, disponibilizado em [www.sei.ba.gov.br](http://www.sei.ba.gov.br), no menu “Publicações”. Compromete-se, ainda, a responder por escrito aos autores e, em caso de recusa, a enviar os resumos dos pareceres aos mesmos.

