



O futuro clima do Brasil

José A. Marengo

RESUMO

Eventos climáticos extremos recentes, como as enchentes na Bacia do Rio Madeira em 2014 e as secas atuais no Nordeste e no Sudeste do Brasil, e os seus impactos na segurança energética, hídrica e alimentar mostram que o Brasil é vulnerável aos extremos da variabilidade de clima. Como esses extremos são associados à variabilidade natural do clima, existem evidências de que eles seriam mais intensos e frequentes num futuro clima mais quente, e de que as atividades antrópicas podem também ter uma participação significativa no processo de aquecimento global.

Palavras-chave: mudanças climáticas; impactos; vulnerabilidade; Brasil; modelagem.

ABSTRACT

Recent extreme climate events such as the Rio Madeira flooding in 2014 and the current drought in Northeastern and in Southeastern Brazil, and their impacts on energy, food and water security, show that Brazil is vulnerable to extremes in climate variability. As these extremes are associated with natural climate variability, there are evidences that they would be more intense and frequent in a warmer future climate, and that human activities can also have a significant role in this process of global warming.

Keywords: climate change; impacts; vulnerability; Brazil; modeling.

VARIAÇÕES E MUDANÇAS DE CLIMA GLOBAIS E NO BRASIL

No Brasil, ao se analisar o histórico de ocorrência de eventos climáticos extremos, observou-se que nos últimos 30 anos tem aumentado a frequência de chuvas fortes no verão e no inverno do Sul e do Sudeste. Também, nesse período, ocorreram as grandes secas históricas experimentadas pela Amazônia em 2005 e 2010 e, na mesma região, as enchentes de 2009, 2012 e 2014. No Nordeste, uma seca em 2012 que já entrou em 2015 e, no Sudeste, temos a grande seca de 2014-15, a pior dos últimos 80 anos, vem afetando a segurança hídrica e energética de São Paulo e Rio de Janeiro e gerando restrições de água para a população da região metropolitana de São Paulo. Segundo a Organização Meteorológica Mundial, no Brasil, o Sudeste registrou no ano passado temperaturas de 1°C a 2°C superior à média entre os anos 1961 e 1990. Como esses extremos são associados à variabilidade natural do clima, existem evidências, porém ainda fracas, de que eles seriam mais intensos e frequentes num futuro clima mais quente.

O aquecimento global começou a ser foco da atenção mundial a partir de 1988, data de fundação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, na sigla em inglês), que, desde então, produz relatórios científicos para melhorar o conhecimento sobre as mudanças climáticas. No quinto relatório, liberado em

2013 e 2014, o IPCC AR5 (IPCC, 2013; IPCC, 2014), o diagnóstico é alarmante: o aquecimento global é uma realidade, observando-se um aumento na temperatura da ordem de 0,9°C desde 1850. O IPCC AR5 atribui o aquecimento global observado nos últimos 50 anos às atividades humanas, com 95% de certeza. O ano de 2014 superou o de 2010 e é o mais quente já registrado desde 1880. Além disso, desde 1976 a temperatura global está acima da média histórica do século XX. Em São Paulo, a estação meteorológica do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG-USP), que funciona há mais de 60 anos, registrou a maior temperatura da história no dia 17 de outubro de 2014, marcando 37,2°C. Segundo o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas – PBMC (2014a, b), foram observadas tendências de aumento da precipitação anual no Sudeste e Sul do Brasil (0,6 mm dia por 50 anos durante 1950-2008). O aquecimento foi detectado em toda a América do Sul, incluindo o Brasil (variando de 0,7°C até 1°C por 40 anos, desde meados dos anos 1970).

O relatório especial de extremos do IPCC, o SREX (IPCC, 2012), sugere que vai haver grande irregularidade de chuvas na América do Sul, sendo que extremos de chuva mais intensa

JOSÉ A. MARENGO é pesquisador sênior do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden).

podem ser mais frequentes na Bacia do Prata, assim como períodos secos mais longos separando dias muito chuvosos na Amazônia e no Sudeste até finais do século XXI. Para o Nordeste e a Amazônia se projeta maior frequência de períodos secos mais intensos e longos, podendo virar secas sazonais. Os relatórios do PBMC e do IPCC mencionam a influência antrópica sobre o sistema climático, porém afirmar qual porcentagem da variação é natural e qual é condicionada pela ação antrópica é uma questão complicada.

OS RESULTADOS DO IPCC E DO PBMC PARA O BRASIL: FUTURO CLIMA DO PAÍS

Na escala nacional, seguindo os moldes do IPCC, foi criado em 2009 o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC) como um organismo científico composto por 345 pesquisadores, para reunir, sintetizar e avaliar informações científicas sobre os impactos relevantes das mudanças climáticas no Brasil. Os resultados do primeiro Relatório de Avaliação Nacional do PBMC, publicado em 2013 (PBMC, 2014a, b), reforçam as projeções de aumento de temperatura e de frequência de eventos extremos apresentados pelo IPCC SREX e AR5.

As projeções dos cenários da mudança do clima para o século XXI foram derivadas dos vários modelos do clima global utilizados pelo IPCC e também por meio de *downscaling* de modelos globais usando modelos regionais de clima (ver PBMC, 2014a). Os primeiros cenários regionalizados de clima foram gerados pelo Inpe em 2007 usando o modelo Eta 50 km inserido no modelo global inglês HadAM3P para os cenários de emissão A2 (altas emissões de GEE) e B2 (baixas emissões de GEE). Posteriormente, novos cenários foram gerados pelo modelo regional RegCM3 com o modelo global HadAM3P. Em 2012, os cenários do Eta 40 km utilizaram o modelo acoplado HadCM3, e em 2014 os mais novos cenários foram gerados com o Eta 20 km inserido em três modelos globais: o HadGEM2 ES, o MIROC5 do Japão e o Modelo Brasileiro do Sistema Terrestre (BESM, na sigla em in-

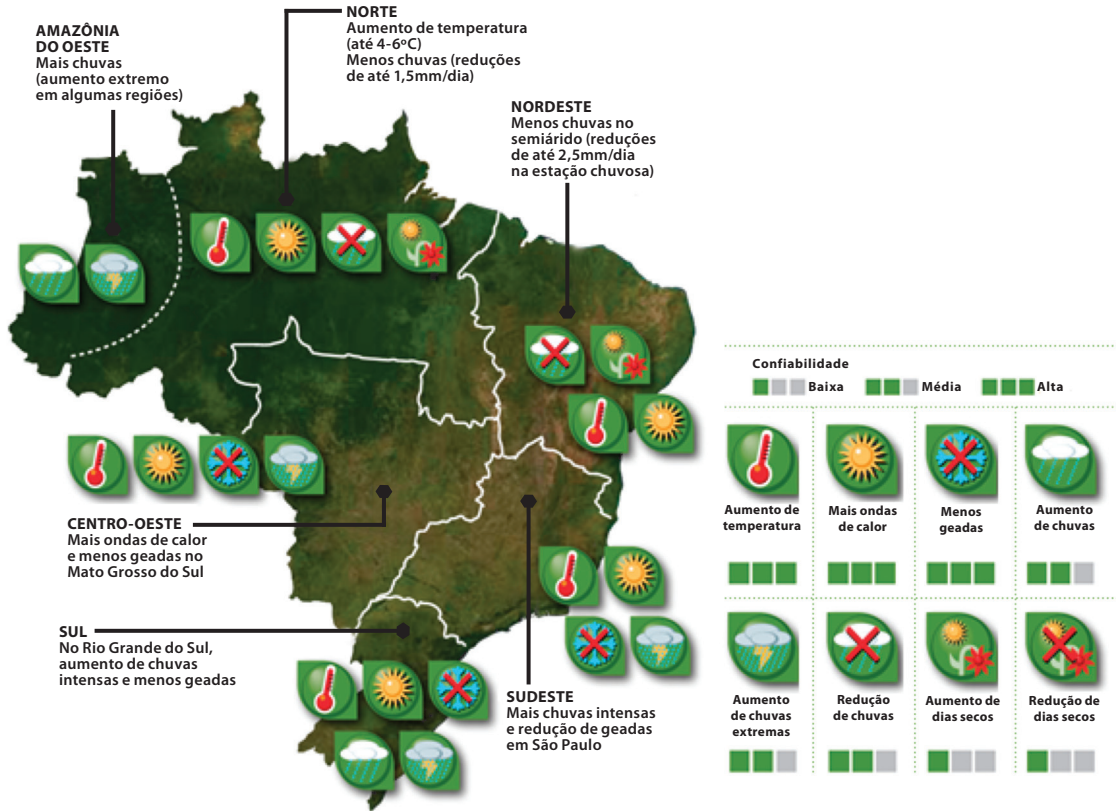
glês), por meio dos novos cenários de emissão Representative Concentration Pathways (RCPs), usados no IPCC AR5, RCP4.5 e 8.5.

O fato de modelos de clima utilizarem diferentes representações físicas de processos, em uma grade de resolução relativamente baixa, introduz um certo grau de incerteza nesses cenários futuros da mudança do clima. Incertezas adicionais podem vir, e isso é extremamente significativo na avaliação da vulnerabilidade e dos impactos da mudança do clima, bem como na implementação de medidas de adaptação e de mitigação. Por exemplo, para a Bacia Amazônica, alguns modelos produziram climas mais chuvosos e outros climas relativamente mais secos; para o Nordeste do Brasil, alguns modelos sugeriram aumento da precipitação, enquanto a maioria indicou redução de chuvas.

Alguns dos resultados reportados no IPCC (2013; 2014) e no PBMC (2014a, b) afirmam que é muito provável que a temperatura suba em toda a América do Sul, com o maior aquecimento projetado para o sul da Amazônia. As áreas consideradas mais vulneráveis são notadamente a Amazônia e o Nordeste do Brasil. O aquecimento médio pode chegar a 5°C em 2100, no cenário A2, e 3°C no cenário B2, embora na Amazônia o aquecimento gradativo possa chegar, em 2100, a 7-8°C ou 4-6°C, respectivamente.

As incertezas sobre o comportamento futuro do clima são especialmente significativas no que se refere ao que acontecerá com o ciclo hidrológico, principalmente no hemisfério sul. Em relação às chuvas, porém, há incertezas, com estudos mostrando diferentes tendências para algumas regiões, apesar de, em outros, haver grande confiabilidade, como para a Região Sul do Brasil e a Bacia do Prata, onde as chuvas vão aumentar, e o leste da Amazônia e o Nordeste, onde haverá redução. As chuvas tendem a diminuir durante o século XXI, sendo as reduções mais intensas no Nordeste (2-2,5 mm/dia) e na Amazônia (1-1,5 mm/dia). Para todo o Brasil, as projeções indicam aumento da temperatura e de extremos de calor, bem como redução na frequência de geadas devido ao aumento da temperatura mínima, principalmente nos estados do Sudeste, Sul e Centro-Oeste, aumento dos extremos de chuva nas regiões

PROJEÇÕES DO CLIMA POR REGIÃO NO ANO, INDICANDO MUDANÇAS PROJETADAS E NÍVEIS DE CONFIANÇA



Fonte: Inpe; Margulis e Debeux, 2010

Sudeste e Sul e aumento na frequência e intensidade de dias secos consecutivos no leste da Amazônia e no Nordeste (Figura 1).

No Sul e no Sudeste, o aumento de extremos de precipitação pode ser associado ao aumento da frequência de desastres naturais, como chuvas intensas, deslizamentos e enchentes. Segundo o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (Ceped, 2012), tais eventos afetaram, entre 1991 e 2012, 96,2 milhões de brasileiros. Muitas dessas tragédias são deflagradas por extremos de clima. Episódios como inundações e estiagens mataram 2.475 pessoas nesse mesmo período. Considerando as projeções de clima avaliadas pelo IPCC e pelo PBMC, estima-se que, nos próximos anos, as tragédias devam ser intensificadas por conta das inexoráveis mudanças climáticas. Isso vai demandar maior preparação dos municípios para responder a desastres.

QUAIS SÃO OS IMPACTOS DAS MUDANÇAS DE CLIMA JÁ OBSERVADAS E PROJETADAS NO BRASIL E NA AMÉRICA DO SUL?

De acordo com o Sumário Técnico do Grupo de Trabalho 2 do IPCC AR5 (Magrin et al., 2014) e com o Relatório de Avaliação Nacional do Grupo de Trabalho 2 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC, 2014b), os principais impactos adversos que poderão afetar o Brasil (sobretudo as regiões Centro-Oeste e Nordeste) no futuro em decorrência da mudança global do clima e que, portanto, irão requerer medidas de adaptação, são os seguintes:

- reduções significativas das áreas de florestas e matas nos estabelecimentos agrícolas;
- aumento das áreas de pastagens;
- possível favorecimento do plantio de cana-de-açúcar;
- redução do crescimento econômico;
- setores e regiões são impactados de forma *heterogênea*;
- agricultura e pecuária são os setores mais sensíveis às mudanças climáticas, mas outros setores também poderão ser negativamente afetados;
- a agricultura no semiárido depende da chuva que cai entre dezembro e março. Nos anos de estiagem prolongada, as comunidades de agricultores perdem até 90% de suas safras;
- “pecuarização” mais acentuada nas regiões rurais do Nordeste;
- aumento das desigualdades regionais;
- aumento das forças de expulsão populacional nas zonas rurais;
- pressão sobre demanda por serviços públicos em grandes aglomerações urbanas;
- aumento da pobreza;
- aumento na frequência e intensidade de eventos extremos tenderia a gerar impactos adversos sobre a produtividade e a produção de culturas agrícolas, com efeitos perversos sobre a segurança alimentar;
- chuvas intensas e inundações poderão impor custos crescentes às aglomerações urbanas;
- as condições de saúde humana no Brasil poderão ser severamente afetadas em razão, sobretudo, do histórico de doenças de veiculação hídrica, doenças transmitidas por vetores e doenças respiratórias;
- mudanças climáticas poderão se tornar potencializadoras das situações de risco, uma vez que tenderiam a intensificar a ocorrência de doenças tropicais, pobreza e desastres;
- vulnerabilidades associadas às mudanças climáticas no semiárido nordestino poderiam afetar, sobretudo, a disponibilidade de água, a subsistência regional e a saúde da população;
- as populações mais vulneráveis às mudanças climáticas seriam aquelas com menos recursos e menor capacidade de se adaptar, tais como os trabalhadores de baixa renda, principalmente os agricultores de subsistência na área do semiárido;
- os extremos da variabilidade climática (particularmente a seca) obrigam as populações a migrarem, o que poderia se agravar num futuro mais seco e quente na região, gerando ondas de refugiados ambientais do clima para as grandes cidades da região ou para outras regiões, aumentando os problemas sociais já presentes nas grandes cidades;
- a vulnerabilidade da economia às mudanças climáticas dos estados brasileiros em ambos os cenários de altas emissões (A1, A2) e baixas emissões (B1, B2) do IPCC AR4 sugere que a Região Centro-Oeste seria a que apresentaria maiores impactos nos custos, chegando a 4,5% do produto interno bruto (PIB) em 2050 no cenário B2. Nesse mesmo cenário, estimou-se, em 2050, uma perda de 3,1% do PIB regional para a Região Norte, 2,9% para o Nordeste, e 2,4% para o Sudeste, em comparação com o que poderia ter ocorrido em um mundo sem mudanças climáticas. No caso da Região Sul, que se beneficiaria em ambos os cenários, o ganho seria significativo no cenário A2 (2% do PIB regional, em 2050);
- vulnerabilidade econômica da Região Nordeste com efeito negativo sobre o PIB e o emprego. Os estados mais afetados em termos de PIB e emprego, no final do período de projeção, de acordo com os cenários de mudanças climáticas, seriam Pernambuco, Paraíba e Ceará, em relação à situação sem essas mudanças.

No Brasil, a região mais exposta aos riscos da variabilidade climática e a uma possível “aridização” e subsequente desertificação é o Nordeste. A Amazônia também pode sofrer um processo de “savanização”, ainda que as incertezas sejam grandes (PBMC, 2014b). A possibilidade de ocorrerem períodos de intensa seca na região da Amazônia, como a de 2005, pode aumentar dos atuais 5% (uma forte estiagem a cada 20 anos) para 50% em 2030 e até 90% em 2100 (Cox et al., 2008), sendo outra consequência dessa mudança de clima um alongamento da estação seca, podendo afetar a hidrologia e os ecossistemas da região. As projeções futuras também sugerem aumento de chuva para a Região Sul do Brasil e para a Bacia do Prata.

As análises de vazões de rios na América do Sul e no Brasil apontaram para aumentos entre 2-30% na Bacia do Rio Paraná e nas regiões vizinhas do sudeste da América do Sul, o que é consistente com as análises de tendência de chuva na região. Não foram observadas tendências

importantes nas vazões dos rios da Amazônia e da Bacia do Rio São Francisco. Essas projeções são muito importantes, pois as alterações nas vazões podem mudar a frequência de enchentes e secas, o que afetaria a produção de alimentos, os transportes, a geração de energia e o abastecimento de água para consumo humano. Porém, é equivocado tratar a problemática dos recursos hídricos unicamente como uma questão de falta de disponibilidade diante do aumento da demanda, pois se trata, fundamentalmente, de uma questão relacionada à gestão do recurso.

O aquecimento global pode comprometer a produção de alimentos, levando a perdas que começariam com até R\$ 7,4 bilhões, em 2020, podendo atingir R\$ 14 bilhões em 2070 (Embrapa, 2008). Com exceção da cana-de-açúcar, todas as culturas sofreriam redução das áreas com baixo risco de produção, em especial soja, milho e café. O café arábica deve perder até 33% da área de baixo risco em São Paulo e Minas Gerais, apesar de poder ter um aumento de produção no Sul do país. Milho, arroz, feijão, algodão e girassol sofrerão forte redução de área de baixo risco no Nordeste, com perda significativa da produção. A mandioca terá um ganho geral de área de baixo risco, mas deve sofrer graves perdas no Nordeste. A produtividade cairia em particular nas culturas de subsistência no Nordeste (Margulis & Dubeux, 2010).

O QUE FAZER PARA MITIGAR OS IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

O IPCC e o PBMC fornecem conhecimento científico que possa ser usado por governantes na definição de políticas ambientais que ajudem a enfrentar o problema de mudanças de clima e os seus impactos. O diálogo entre cientistas e gestores públicos nunca foi fácil, mas tem melhorado muito. Traduzir o linguajar científico para a linguagem dos tomadores de decisão – e para a população em geral – ainda é um desafio. A população é vítima da falta de diálogo entre as esferas de governo e da inércia das autoridades locais. Falta coordenação. Alguns tomadores de decisão questionam a existência das mudanças climáticas. As autoridades estão cercadas por céticos e cientistas, com opiniões opostas. Na dúvida, optam pela inércia, e essa falta

de posicionamento culmina em um desastre grave. Novas ações do governo, como a criação do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden), têm ajudado a diminuir os impactos dos desastres naturais deflagrados por eventos meteorológicos extremos.

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

No campo internacional, no presente, mudanças políticas e econômicas têm sido adotadas para minimizar as emissões de gases de efeito estufa. As discussões nesse sentido foram iniciadas em 1992, com a Cúpula da Terra, conhecida como Rio-92. Nesse ano, foi estabelecida a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC, na sigla em inglês), embasada pelas avaliações do IPCC, com o objetivo de procurar soluções para problemas relacionados ao aquecimento global. É necessário um acordo para limitar as emissões dos gases de efeito estufa, o que poderia ter impactos econômicos, pois diminuiria o ritmo de crescimento das economias. A principal medida adotada pela UNFCCC foi o Protocolo de Kyoto, elaborado em dezembro de 1997, que entrou em vigor em fevereiro de 2005, demora justificada pela não ratificação por parte dos Estados Unidos, na época o maior emissor de gases de efeito estufa.

O Protocolo de Kyoto tinha como objetivo controlar as emissões de seis tipos de gases de efeito estufa, mas apresentou um problema importante em sua concepção: os países em desenvolvimento não tinham metas de redução de emissões dos gases, o que caracterizava um comportamento de carona, usufruindo de eventuais ganhos sem nenhum tipo de custo. Suas metas vigoraram entre 2008 e 2012, e atualmente há negociação entre países para que um novo protocolo seja concebido e entre em vigor o mais rápido possível.

Além do Protocolo de Kyoto, outras ações foram tomadas visando ao combate das mudanças climáticas, e ainda outras decisões deverão ser tomadas em Paris, em 2015, na Conferência das Partes COP. No momento, países como China, Es-

tados Unidos, Brasil e os da União Europeia têm definido metas de redução nas emissões de gases de efeito estufa. No Brasil, destaca-se a redução na taxa de desmatamento e a implementação de projetos de desenvolvimento limpo.

BIBLIOGRAFIA

- CDKN – Climate & Development Knowledge Network. *The IPCC's Fifth Assessment Report. What's in it for Latin America? Executive Summary*. London, 2014. Disponível em: cdkn.org/wp-content/uploads/2014/11/IPCC-AR5-Whats-in-it-for-Latin-America.pdf.
- CEPED – Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. *Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991 a 2010*. Florianópolis, Ceped/Universidade Federal de Santa Catarina, 2012.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Aquecimento Global e a Nova Geografia da Produção Agrícola no Brasil*. São Paulo/Campinas, Embrapa Agropecuária e Cepagri/Unicamp, agosto de 2008.
- IPCC – Intergovernmental Panel in Climate Change. *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Edited by C. B. Field et al. Cambridge/New York, Cambridge University Press/IPCC, 2012.
- _____. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Edited by T. F. Stocker et al. Cambridge/New York, Cambridge University Press, 2013.
- _____. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Edited by C. B. Field et al. Cambridge/New York, Cambridge University Press/IPCC, 2014.
- MAGRIN, G. O. et. al. "Central and South America", in *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Edited by V. R. Barros et al. Cambridge/New York, Cambridge University Press, 2014.
- MARGULIS, Sergio; DUBEUX, Carolina Burle Schmidt (eds.). *Economia da Mudança do Clima no Brasil: Custos e Oportunidades*. Coordenação geral de Jacques Marcovitch. São Paulo, IBEP, 2010, 82 p.
- PBMC – Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. *Base Científica das Mudanças Climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório de Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas*. Organização de T. Ambrizzi & M. Araujo. Rio de Janeiro, Coppe/Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2014a.
- _____. *Impactos, Vulnerabilidades e Adaptação às Mudanças Climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 2 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas*. Organização de E. D. Assad & A. R. Magalhães. Rio de Janeiro, Coppe/Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2014b.