

Impactos, vulnerabilidade e adaptação à mudança do clima no Brasil: uma abordagem integrada

José Antônio Marengo^a

Saulo Rodrigues-Filho^c

Diogo Victor Santos^d

^a Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais – Cemaden,
São José dos Campos, SP, Brasil
End. Eletrônico: jose.marengo@cemaden.gov.br

^b Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília (CDS/UnB),
Brasília, DF, Brasil
End. Eletrônico: saulofilhocds@gmail.com

^c Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), Brasília, DF, Brasil
End. Eletrônico: diogo.santos@mctic.gov.br

doi:10.18472/SustDeb.v11n3.2020.35624

O presente Dossiê visa apresentar avanços na produção de conhecimento sobre identificação de impactos e avaliação da vulnerabilidade, enquanto etapas indispensáveis para o planejamento e a implementação da adaptação à mudança do clima no Brasil. Nesse sentido, contém artigos organizados com elementos extraídos de estudos de Impactos, Vulnerabilidade e Adaptação (IVA), contratados no âmbito do projeto que subsidiou a elaboração da Quarta Comunicação Nacional do Brasil (4CN) à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC). A 4CN é um documento de governo, cuja coordenação é exercida pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), e conta com o apoio do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) e a doação de recursos do Fundo Global para o Meio Ambiente (GEF na sigla em inglês), além da parceria científica da Rede Brasileira de Pesquisas sobre Mudanças Climáticas Globais (Rede CLIMA)¹.

Tendo em vista subsidiar a integração de políticas públicas em torno da agenda de adaptação no Brasil, e refletir os avanços da ciência na avaliação e gestão de riscos relacionados ao clima, adotou-se neste trabalho uma estratégia metodológica interdisciplinar, com base na abordagem integrada *Nexus+*.

Segundo a contribuição do Grupo de Trabalho II ao Quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), diante de cenários de incertezas profundas, preconiza-se a adoção de modelos conceituais que partem do contexto da tomada de decisão, ou “*policy-first*”, em detrimento daqueles que partem da investigação de relações causais mais diretas, ou “*science-first*”. Esses últimos são mais orientados a apoiar a formulação de ações de adaptação incrementais, enquanto os primeiros exigem o reconhecimento da complexidade do tema e representam uma perspectiva mais sistêmica. Conforme a Figura 1, quanto mais se caminha para a direita, no sentido de maior integração, modelos “*policy-first*” passam a ter maior aplicabilidade.

1 | A responsabilidade sobre os dados e análises apresentados é dos autores e não expressam necessariamente as posições das instituições envolvidas.

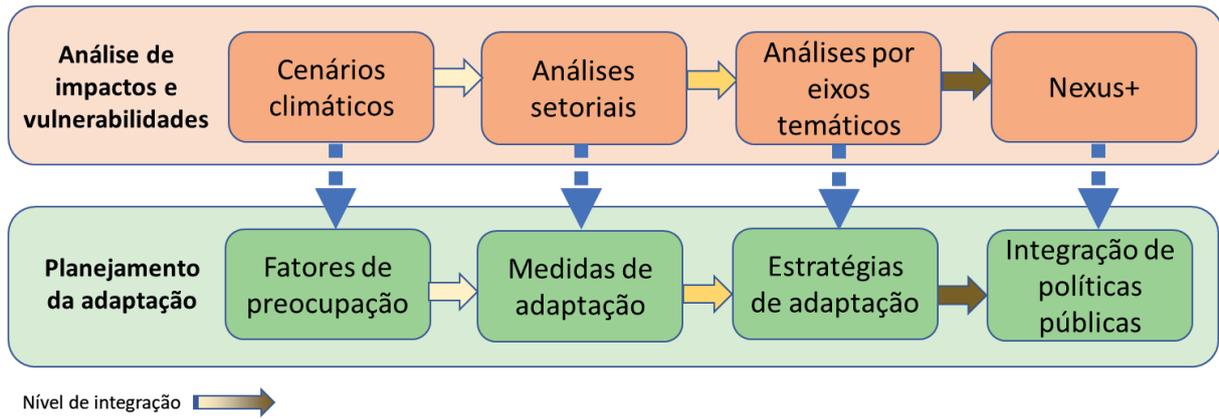


Figura 1 | Análises de impactos e vulnerabilidades como subsídio ao planejamento da adaptação (relações nas setas azuis), conforme o nível de integração.

Fonte: Elaborado pelos autores.

A utilização da abordagem *Nexus+* implicou a estruturação dos estudos de IVA a partir das seguranças hídrica, energética, alimentar e socioambiental (serviços ecossistêmicos, desastres e saúde), com recortes territoriais de análise segundo os biomas brasileiros, zonas costeiras e cidades.

Foram considerados os impactos relacionados ao clima já observados sobre o território brasileiro, bem como cenários de aquecimento global de 1,5 °C, 2 °C e 4 °C acima dos níveis pré-industriais, ou somente SWL1, SWL2 e SWL4 (*Specific Warming Levels*²).

Analizou-se, em um primeiro nível, as inter-relações entre fatores condicionantes dos impactos ou riscos no âmbito de cada uma das seguranças; e em segundo nível, identificou-se potenciais sinergias e conflitos de escolha (*trade-offs*) entre opções de adaptação relacionadas às seguranças. Resultados ressaltaram oportunidades de adaptação em consonância com a conservação ambiental, a promoção do desenvolvimento socioeconômico do país e a redução de desigualdades.

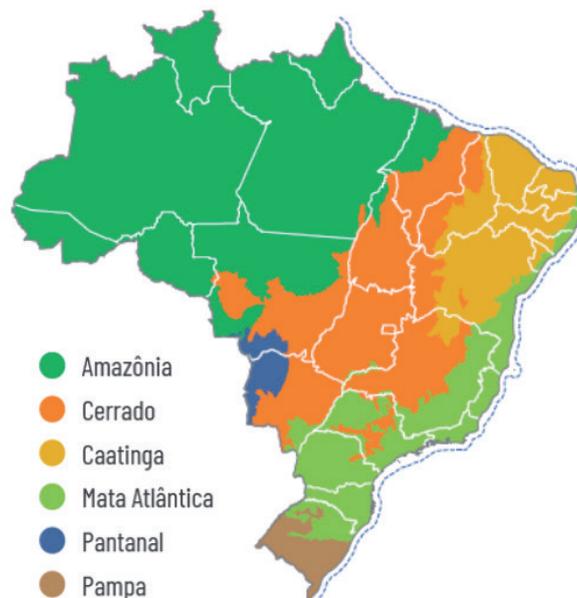


Figura 2 - Divisão territorial dos biomas terrestres brasileiros.

Fonte: Baseado em IBGE (www.ibge.gov.br).

2 | Variação da anomalia média global da temperatura do ar à superfície em relação ao período pré-industrial (aproximadamente 1870-1899).

As investigações e análises focaram nos impactos e riscos relacionados ao clima que requerem ações urgentes, considerando a influência de fatores climáticos e não climáticos, conforme estrutura conceitual proposta pelo IPCC.

A série de artigos do Dossiê se inicia com a descrição da aplicação da abordagem Nexus+ nos estudos realizados, e em seguida, apresentam-se cenários de mudança do clima no Brasil (por nível de aquecimento médio global). A partir de então, são aprofundadas questões relativas às seguranças hídrica, energética, alimentar e socioambiental (desastres e saúde). Por fim, em caráter transversal, trata-se de aspectos relativos às zonas costeiras no país.

O artigo inicial (COUTINHO et al., 2020) detalha a abordagem metodológica adotada no processo de desenvolvimento dos estudos de Impactos, Vulnerabilidade e Adaptação realizados, e que subsidiaram os demais artigos aqui apresentados. Explica as escolhas realizadas em termos de estrutura conceitual e procedimentos, bem como as inovações do trabalho.

As mudanças climáticas projetadas entre os diferentes níveis de aquecimento global foram analisadas para a precipitação, temperatura e índices de extremos climáticos (dos SANTOS et al., 2020). As projeções indicam diferenças robustas nas características climáticas regionais, e incluem os seguintes incrementos: na temperatura mínima e máxima do ar próximo à superfície para todas as regiões do País; nos extremos de calor, em particular no norte do País, na ocorrência de chuva intensa no Sul e Sudeste do Brasil; e na probabilidade de secas e déficits de chuva em algumas regiões da Amazônia e Nordeste.

Oportunidades de adaptação para a segurança hídrica nos diferentes biomas brasileiros são tratadas no artigo correspondente (PEREIRA et al., 2020). Foram discutidas a redução da disponibilidade hídrica prevista em cenários de clima futuro, considerando não apenas mudanças na oferta de água, mas também as projeções crescentes de retirada para os próximos 20 anos e os atuais conflitos de uso múltiplo. Isso sugere um cenário de amplificação dos desafios já existentes no futuro próximo. Crises hídricas como a que se verificou Sudeste do Brasil, no verão de 2014, podem ser mais frequentes no futuro.

Os desequilíbrios entre demanda e disponibilidade de água com qualidade num contexto multissetorial evidenciam a relevância do tratamento integrado pela abordagem *Nexus+* (que considera a segurança socioambiental em conjunto com o tripé água-alimento-energia, que usualmente serve de base à abordagem *Nexus*). A articulação entre diferentes instituições e políticas públicas em abordagens multiescalas (municipal, de bacias hidrográficas, estadual e federal), assim como a consideração da incerteza climática nas ações de planejamento, ainda são desafios a serem superados na gestão dos recursos hídricos, que são fundamentais para direcionar ações de adaptação.

A geração hidrelétrica é responsável por ofertar a maior parte da eletricidade no Brasil, cerca de 70%. Tal como outras fontes renováveis, a fonte hídrica tem alta sensibilidade a variáveis meteorológicas, de maneira que mudanças climáticas podem ter impacto considerável sobre o recurso. O estudo analisa os impactos das mudanças climáticas na geração hidrelétrica e suas consequências para o sistema elétrico brasileiro (VASQUEZ-ARROYO et al., 2020). São utilizados dados de cenários de níveis específicos de aquecimento médio global (SWL2 e SWL4), provenientes de dois modelos climáticos regionalizados.

Os resultados indicam que a capacidade adaptativa do sistema elétrico frente à queda de geração hidrelétrica inclui uma maior penetração de outras fontes renováveis e termelétricas a gás natural, gerando um aumento no custo marginal do sistema para atendimento da demanda em 2030. Quanto às emissões de gases de efeito estufa, projeta-se um aumento nos cenários SWL2 com o aumento do despacho de termelétricas, mas uma redução nos cenários em que se atinge o SWL4, quando outras fontes renováveis (além da hídrica) passam a ter maior participação na matriz elétrica.

A ocorrência e a intensidade de eventos climáticos extremos podem afetar os sistemas energéticos (VASQUEZ-ARROYO et al., 2020). Os impactos na geração hidrelétrica, sistemas de transmissão e

distribuição, culturas bioenergéticas e demanda de energia são avaliados. A seca ocorrida no Sudeste do Brasil em 2014 reduziu significativamente a geração média da usina hidrelétrica de Três Marias (e outras usinas à jusante) e também causou uma quebra da safra 2014/2015 de cana-de-açúcar na região Centro-Sul. Uma onda de calor em janeiro de 2019 pode ter causado um considerável aumento do consumo residencial de energia na região Sudeste.

O Brasil é um grande produtor mundial de alimentos e se destaca como pilar da segurança alimentar em escala planetária (CARVALHO et al., 2020). A ocorrência de eventos climáticos extremos no presente mostra que o clima é um desafio para o setor em todo o País, com consequências a serem sentidas no contexto mundial. Variações no regime de chuvas afetarão diretamente a produção de alimentos, em especial da agricultura familiar. Outros extremos como ondas de calor, deslizamentos de terra, enchentes e enxurradas podem também afetar a segurança alimentar, tanto na produção agrícola e pecuária, quanto no transporte e armazenamento dos produtos. Foram utilizados dados de diferentes agências e programas governamentais, assim de projeções climáticas produzidas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. Os resultados mostraram, sobretudo na última década, a ocorrência de elevadas perdas de produção e consequências nos preços de alimentos decorrentes de secas e outros fatores climáticos em vários biomas do país. Culturas importantes de alimentos na cesta básica do brasileiro, como milho, feijão, trigo e arroz podem ser comprometidos, devido, sobretudo, ao déficit hídrico associado a secas, cujos impactos variam regionalmente.

Impactos da mudança do clima sobre os sistemas naturais têm sido considerados como um dos principais vetores de transformações ambientais no mundo (além de mudanças no uso da terra e outros fatores). O estudo trata do conceito de resiliência que tem sido empregado no âmbito das mudanças climáticas, e utilizado na ecologia para entender os limiares de transição ecossistêmicos que, quando ultrapassados, implicariam na incapacidade de florestas e outros habitats de se regenerarem (conservando seus atributos característicos) frente a diversas perturbações externas (PINHO et al., 2020).

O artigo utiliza um arcabouço conceitual que une a teoria das transições críticas à modelagem de distribuição em cenários futuros, com o aumento gradativo de temperatura global até o final do século, a fim de evidenciar de que forma a resiliência ecológica dos biomas será alterada e quais os possíveis riscos e repercussões para a segurança socioambiental no Brasil. Apresenta-se a possibilidade de se usar a modelagem de resiliência dos biomas para apontar possíveis trajetórias para estratégias adaptativas, tais como reflorestamento e estabelecimento de áreas prioritárias para conservação no País.

A componente socioambiental apresenta uma análise da vulnerabilidade urbana brasileira aos desastres (como deslizamentos de terra, inundações, enxurradas e alagamentos), com base em impactos já observados e mapeados, em relação ao clima presente e aos cenários climáticos futuros (PEREZ et al., 2020). As análises levaram em consideração o contexto brasileiro de desigualdades sociais. O foco sobre as populações socialmente vulneráveis morando em situação de risco no presente e o processo de urbanização precária são aspectos fundamentais para compreensão dos impactos relacionados ao clima em cenários futuros.

Os aspectos de saúde e risco da exposição às condições de estresse térmico e seu potencial impacto na mortalidade por doenças cardiovasculares e respiratórias nas capitais brasileiras são avaliados (OLIVEIRA et al., 2020). De acordo com os níveis de aquecimento (SWL1,5, SWL2 e SWL4), no cenário RCP 8.5³, e usando o indicador *Wet Bulb Globe Temperature (WBGT)*, observa-se um aumento significativo das condições de estresse térmico para o Brasil, sobretudo nas regiões Norte e Centro-Oeste. A mortalidade por doenças cardiovasculares e respiratórias pode aumentar, conforme os níveis de aquecimento, e apresentar resultados heterogêneos entre as capitais.

3 | As Trajetórias Representativas de Concentração de GEE, ou Representative Concentration Pathways (RCPs), correspondem a cenários de estabilização, de pico ou ao final do século XXI da forçante radiativa em W.m-2. No caso do cenário RCP 8.5, faz-se referência a 8,5 W.m-2.

O artigo de JACOBSON et al. (2020) avalia o impacto futuro do aquecimento global nos Anos Potenciais de Vidas Perdidos (YLL) para as doenças cardiovasculares em adultos (≥ 45 anos) e respiratória em idosos (≥ 60 anos) em todas as capitais do Brasil. Para os níveis de aquecimento avaliados (SWL1,5, SWL2 e SWL4), Rio de Janeiro e São Paulo apresentaram o maior índice de YLL atribuível ao aquecimento global. Os resultados desta pesquisa sugerem que o impacto da exposição à temperatura sobre o YLL tende a crescer conforme aumenta o nível de aquecimento global.

O estudo de CARVALHO et al. (2020) mostra que as mudanças climáticas afetam a saúde humana direta ou indiretamente, e seus impactos são complexos e dependentes de diversas variáveis. Dentre os diversos impactos das mudanças climáticas na saúde estão a alteração na distribuição espacial de doenças transmitidas por vetores, entre elas leishmaniose visceral, febre amarela e malária no Brasil, em diferentes cenários de aquecimento global. Nesses cenários futuros, a leishmaniose visceral encontrou condições climáticas mais favoráveis à sua ocorrência nas regiões Sudeste e Sul do Brasil, enquanto o clima nas regiões Norte e Centro-Oeste se tornou gradativamente mais favorável à febre amarela. Nos cenários para malária foi observado aumento nas condições climáticas favoráveis à sua alta incidência no bioma Mata Atlântica, onde atualmente ocorrem casos “extra-amazônicos”.

A zona costeira, território onde se concentra boa parte da população brasileira, guarda papéis centrais para a discussão da vulnerabilidade e das ferramentas de adaptação diante das mudanças climáticas (HORTA et al., 2019). Ecossistemas aquáticos representam fonte de alimentos para os humanos e também para a abundante e rica biodiversidade em ambientes costeiros. Compreendem também a função de absorver e reter dióxido de carbono, gás de efeito estufa que tem papel central nas mudanças climáticas. A adaptação baseada em ecossistemas deve receber atenção especial nas discussões que vislumbrem a redução da vulnerabilidade e adaptação das comunidades costeiras.

Os artigos que compõem o presente dossiê apresentam propostas de medidas de adaptação às mudanças climáticas e apontam possíveis repercussões nas seguranças hídrica, energética, alimentar, socioambiental e no próprio clima. Em geral, podemos dizer que os impactos negativos e os riscos relacionados aos extremos e mudança do clima superam os benefícios e, em todas as seguranças, são agravados por fatores antrópicos de pressão. Isso se manifesta de forma heterogênea dentro do território e de acordo com as condições socioeconômicas e características biofísicas. A implementação da adaptação será mais eficaz ao considerar sinergias e compensações, com as primeiras prevalecendo sobre as últimas, tendo-se identificado como mais urgentes a melhoria de capacidades de gestão, redução de vulnerabilidades estruturais e manutenção de serviços ecossistêmicos.

Os trabalhos apresentados neste dossiê trazem resultados inovadores, principalmente no que diz respeito à integração entre setores e temas, tanto no entendimento de impactos e riscos, quanto na proposição de soluções. O processo buscou identificar questões prioritárias, onde a adaptação seria mais relevante (nos diferentes níveis de aquecimento avaliados), além de explorar aspectos a serem considerados no âmbito da gestão pública, a fim de tornar essas ações mais efetivas, bem como apoiar diferentes segmentos da sociedade civil e do meio acadêmico no entendimento dos problemas e na implementação de opções de adaptação.

Editores do Dossiê