15 ANOS DA REDE CLIMA



Contexto histórico e político das mudanças climáticas no Brasil – análise e caminhos para o AGORA

Volume 5

Segurança Hídrica, Alimentar e Energética na Bacia Estendida do Rio São Francisco: diagnóstico utilizando a metodologia Nexus

Rede Clima
Mudanças Ambientais Globais no Brasil

15 ANOS DA REDE CLIMA

Contexto histórico e político das mudanças climáticas no Brasil – análise e caminhos para o **AGORA**

Rede Clima
Mudanças Ambientais Globais no Brasil

Volume 5

Segurança Hídrica, Alimentar e Energética na Bacia Estendida do Rio São Francisco: diagnóstico utilizando a metodologia Nexus

Cemaden
Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais

2023

15 ANOS DA REDE CLIMA

Contexto histórico e político das mudanças climáticas no Brasil – análise e caminhos para o **AGORA**

SEGURANÇA HÍDRICA, ALIMENTAR E ENERGÉTICA NA BACIA ESTENDIDA DO RIO SÃO FRANCISCO: DIAGNÓSTICO UTILIZANDO METODOLOGIA NEXUS

Rede Brasileira de Pesquisas sobre Mudanças Climáticas Globais - redeclima.cemaden.gov.br

COORDENADOR
Moacyr C. Araújo Filho (UFPE)

VICE-COORDENADOR
Jean Pierre Henry Balbaud Ometto (INPE)

Sub-redes temáticas

AGRICULTURA
Coordenadores: Renato de Aragão Ribeiro Rodrigues (UFF) e Stoécio Malta Ferreira Maia (IFAL)

BIODIVERSIDADE E ECOSSISTEMAS
Coordenadores: Lauro Barata (UFOPA) e Mariana Moncassim Vale (UFRJ)

CIDADES E URBANIZAÇÃO
Coordenadores: Alisson Barbieri (UFMG) e Gilvan Guedes (UFMG)

DESASTRES NATURAIS
Coordenadoras: Regina Alvalá (Cemaden) e Regina Rodrigues (UFSC)

DESENVOLVIMENTO REGIONAL
Coordenadores: Marcel Bursztyn (UnB) e Saulo Rodrigues Filho (UnB/Embratur)

ECONOMIA
Coordenadores: Edson Paulo Domingues (UFMG) e Eduardo Haddad (USP)

ENERGIAS RENOVÁVEIS
Coordenador: Marcos Aurélio Vasconcelos de Freitas (UFRJ)

MODELAGEM CLIMÁTICA
Coordenadores: Lincoln Muniz Alves (INPE) e Silvio Nilo Figueroa Rivero (INPE)

OCEANOS
Coordenadores: Leticia Cotrim da Cunha (UERJ) e Moacyr Cunha de Araújo Filho (UFPE)

POLÍTICAS PÚBLICAS
Coordenadores: Gustavo Luedemann (Ipea) e Karen Silverwood (Governo Federal)

RECURSOS HÍDRICOS
Coordenador: Francisco de Assis Souza Filho (UFC)

SAÚDE
Coordenadores: Christovam Barcellos (Fiocruz) e Sandra Hacon (Fiocruz)

SERVIÇOS AMBIENTAIS DOS ECOSSISTEMAS
Coordenador: Philip Martin Fearnside (INPA)

USOS DA TERRA
Coordenadores: Jean Ometto (INPE) e Mercedes Bustamante (UnB)

ZONAS COSTEIRAS
Coordenadores: Alexander Turra (USP) Margareth Copertino (FURG)

Projetos Integrativos

SEGURANÇA HÍDRICA, ALIMENTAR E ENERGÉTICA
Coordenadores: Eduardo Delgado Assad, Enio Bueno Pereira, Francisco de Assis Souza Filho e Stoécio Malta Maia

SEGURANÇA SOCIOAMBIENTAL
Coordenadores: Marcel Bursztyn e Saulo Rodrigues Filho

O conteúdo desta publicação foi editado e organizado a partir dos textos, informações e imagens submetidos pelos pesquisadores Eduardo Delgado Assad, Enio Bueno Pereira, Francisco de Assis Souza Filho, Stoécio Malta Maia, Flavia Witkowski Frangetto e Gustavo Luedemann.

PROJETO EDITORIAL, ORGANIZAÇÃO, ELABORAÇÃO, EDIÇÃO, PREPARAÇÃO DE TEXTOS E REVISÃO ORTOGRÁFICA E GRAMATICAL
Ana Paula Soares e Erica Menero

REVISÃO TÉCNICA
Eduardo Delgado Assad, Flavia Witkowski Frangetto e Gustavo Luedemann

DESIGN GRÁFICO E CAPA
Magno Studio

DIAGRAMAÇÃO
Gabriel Sá

APOIO INICIAL
Tainá de Luccas

FOTO DA CAPA
iStockphoto

Sedes

Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais
Estrada Doutor Altino Bondesan, 500 - Eugênio de Melo
12247-016 - São José dos Campos - SP - Brasil

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Avenida dos Astronautas, 1758 - Jardim da Granja,
12227-010 - São José dos Campos – SP - Brasil

Ficha Catalográfica. Elaborada por Cíntia Cássia Soares – CRB 8848 / 8R

R249m

Rede Clima.
Segurança hídrica, alimentar e energética na bacia estendida do Rio São Francisco: diagnóstico utilizando a metodologia Nexus – volume 5 / Rede Clima. – São José dos Campos, SP: CEMADEN, 2023.
67 p. : il. ; PDF.
(15 anos da Rede Clima: contexto histórico e político das mudanças climáticas no Brasil – análises e caminhos para o agora , v.5).

ISBN: 978-65-84510-17-3

1.Mudanças Climáticas – Brasil. 2.Bacia do Rio São Francisco - Brasil. 3.Metodologia Nexus. I. Título.

CDU:502/504(81)
CDD:577(81)

Sugestão de citação:
ASSAD, E. D.; PEREIRA, E. B.; SOUZA FILHO, F. A.; MAIA, S. M.; WITKOWSKI, F.; LUEDEMANN, G. 15 anos da Rede Clima: contexto histórico e político das mudanças climáticas no Brasil – análises e caminhos para o agora. V.5. **Segurança Hídrica, Alimentar e Energética na Bacia Estendida do Rio São Francisco: diagnóstico utilizando a metodologia Nexus**. São José dos Campos, SP, Brasil: Cemaden, 2023.

Sumário

5 Apresentação

9 A Rede Clima

13 Os projetos integrativos da Rede Clima
- A Bacia do Rio São Francisco

17 O Projeto Integrativo Segurança Hídrica, Alimentar e Energética (PISHAE) na Bacia Estendida do Rio São Francisco: Diagnóstico utilizando a metodologia Nexus
- Introdução

21 Destaques científicos
- Vazão
- Produtividade
- Energia

27 Principais resultados
- Caracterização espaço-temporal da BESF
- Percepção das secas como subsídio à segurança hídrica
- Impacto das mudanças climáticas no regime de vazões
- Indicadores da agropecuária: dados atuais e em cenários futuros de mudanças do clima
- Perdas da produção agrícola e eventos climáticos extremos na BESF
- Emissões de gases de efeito estufa no setor agropecuário
- Mudanças nos estoques de carbono do solo
- Potencial de energia eólica e solar
- Avaliação de recursos de energia solar

49 Impactos com base nos objetivos gerais da Rede Clima

53 Caminhos para o AGORA
- Análise
- Considerações
- Contribuições sobre políticas públicas

61 Publicações vinculadas ao projeto integrativo Segurança Hídrica, Alimentar e Energética - PISHAE

65 Referências

Apresentação



Amazônia/iStockphoto

A preocupação de cientistas brasileiros com o impacto das mudanças climáticas antropogênicas se confunde com a própria história da formação do nosso país. José Bonifácio de Andrada Silva, patriarca de nossa independência, antes de ingressar na administração pública e na política, se estabeleceu como cientista reconhecido em toda a Europa. José Bonifácio teve uma rica trajetória tendo estudado na Universidade de Coimbra e Escola de Minas de Freiberg (*alma mater* também de Alexandre von Humboldt) e atuado como Intendente Geral das Minas e Metais, que incluía também a gestão das florestas do Império português. Ao retornar ao Brasil e notar o efeito da devastação das florestas na produção agropecuária, ele escreveu em 1815, na publicação *"Memoria sobre a necessidade e utilidades do plantio de novos bosques em Portugal, particularmente de pinhaes nos areaes de beira-mar; seu methodo de sementeira, costeamento, e administração."*:.

> *"Sem matas a umidade necessária para a vida das outras plantas, e dos animais, vai faltando entre nós. A terra se faz árida e nua.... Diminuem os orvalhos e chuvas, diminuem os cabedais certos e perenes, dos rios e das fontes; e só borrascas e trovoadas arrasam as ladeiras, areiam os vales e costas, e inundam e subterram as searas. O Suão abrasador apoderou-se das Províncias; e novo clima, e nova ordem de estações estragam campos outrora férteis e temperados."*

A preocupação com o efeito das mudanças climáticas causadas pelo homem também se faz notar desde o início do século XX, na discussão sobre as secas no Nordeste. Candido Rondon, militar com refinado olhar antropológico e geográfico, foi convidado em 1922 pelo presidente Epitácio Pessoa para liderar uma missão científica com o objetivo de identificar as causas das persistentes secas na região. No relatório final, Rondon concluiu que a construção de açudes, principal política do governo federal, era ineficiente devido à corrupção e abuso de poder, e que:

> *"É o agente homem que assumiu entre nós o papel de estranho fazedor de desertos. [Quando chove] passa célere por sobre os chapadões desnudos cuja irradiação intensa lhe altera o ponto de saturação, diminuindo as probabilidades das chuvas. [...] É claro que a criação e a conservação das florestas constituem providência básica, seja qual for o ponto de vista, como meio de modificar as causas da irregularidade no regime de chuvas [...] Para que o florestamento possa intervir como fator climático na região interior do Nordeste é indispensável que se estenda à vasta área de poucas chuvas e que seja feito em conjunto, isto é, interessando o maior número de estados."* In: Rother, Larry. Rondon: uma biografia. Objetiva, 2019.

A preocupação com a proteção do clima para a produção de alimentos foi um dos principais motivadores da proposição de um novo Código Florestal, em 1965. A nova legislação, que surgiu de um grupo de trabalho de juristas e cientistas, trazia importantes medidas de conservação das florestas, incluindo a obrigatoriedade de conservar pelo menos 50% destas localizadas na região Norte, e 20% no restante do Brasil. A proposta foi levada ao Congresso Nacional pelo agrônomo e professor da USP Hugo Leme, então Ministro da Agricultura. No relatório enviado ao general Castelo Branco, Leme escreve:

> *"O anteprojeto de lei que tenho a honra de submeter à elevada consideração de Vossa Excelência constitui mais uma tentativa visando a encontrar-se uma solução adequada para o problema florestal brasileiro cujo progressivo agravamento está a exigir a adoção de medidas capazes de evitar a devastação das nossas reservas florestais, que ameaçam transformar vastas áreas do Território Nacional em verdadeiros desertos."*

Durante o regime militar, o entendimento científico sobre o impacto da ação humana sobre o clima continuou a avançar. Neste contexto, porém, além da produção de alimentos, havia uma preocupação crescente com a necessidade da regularidade das chuvas para a produção de energia, principalmente na Amazônia. Portanto, foram feitos investimentos substanciais para ampliar a rede de estações meteorológicas na região, que saltaram de 71 em 1965 para 195 em 1985. Também foram realizados estudos utilizando imagens de satélite e medições de isótopos de moléculas de água coletadas com ajuda da Força Aérea Brasileira em diferentes partes da Amazônia. A conclusão de diferentes estudos realizados ainda nos anos 1970 é de que entre um terço e metade da água que abastecia as hidroelétricas em construção (e planejadas) e que garantiriam o potencial agropecuário da região seria reciclada a partir da evapotranspiração da floresta. A partir desse achado, um relatório do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), de 1978, argumenta que:

> *"Isso significa que um desmatamento muito extenso pode afetar consideravelmente o microclima da região. As implicações disso para o desenvolvimento da região não podem ser subestimadas, já que o governo brasileiro está especialmente preocupado que um dano permanente não deve ocorrer aos recursos naturais existentes."*

Durante os anos 1990 e 2000, o tema das mudanças climáticas antropogênicas ganha relevância mundial com a descoberta do processo de aquecimento global causado pela emissão de gases de efeito estufa. Ali também cientistas brasileiros estiveram presentes, desde o primeiro relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima, publicado em 1990, tendo sido o Brasil o país sede da Conferência que criou a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, em 1992. De modo a internalizar o debate sobre as ações para mitigação das mudanças climáticas, foi criado em 2000 o Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas, vinculado à Presidência da República. Outro passo importante foi a criação, pelo Ministério de Ciência e Tecnologia, em 2007, da Rede Brasileira de Pesquisas sobre Mudanças Climáticas, visando gerar conhecimento para a formação de políticas públicas e apoiar a diplomacia brasileira nas negociações internacionais.

Um ponto em comum que une o esforço científico de mais de dois séculos é a dificuldade de traduzir o conhecimento sobre o nexo entre clima, energia e produção de alimentos e ações efetivas do poder público. Apesar de José Bonifácio de Andrada ter liderado o processo de independência e construção da primeira Constituição do Brasil independente, as suas propostas de proteção ambiental e fim da escravidão foram duramente combatidas, tendo sido exilado menos de um após a declaração da Independência. De forma similar, o presidente Epitácio Pessoa rechaçou as conclusões do Relatório de Rondon e continuou insistindo na construção de açudes concentrados nas mãos da elite local, em vez de atuar nas causas ambientais e sociais da seca. E apesar das boas intenções iniciais dos legisladores do Código Florestal de 1965, e da preocupação relatada pelos cientistas do CENA com os impactos do desmatamento nas chuvas da Amazônia, o regime militar implementou uma política de colonização que gerou uma onda de destruição na Amazônia, cujas repercussões chegam até os dias atuais. Portanto, os 15 anos de criação da Rede Clima, comemorados com uma coleção de livretos temáticos, são um marco importante que se insere em uma trajetória de dois séculos, que se confunde com a própria história da formação do Brasil. Cabe portanto à nossa geração de cientistas e gestores públicos o desafio de reduzir a distância entre conhecimento climático e atuação do poder público, para garantir a produção de energia e de alimentos hoje e amanhã.

Raoni Rajão
Diretor de Políticas de Controle do Desmatamento e
Queimadas do Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima
Professor da UFMG

A Rede Clima



Amazônia/iStockphoto

A Rede Brasileira de Pesquisas sobre Mudanças Climáticas Globais – Rede Clima, como iniciativa do atual Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) (à época Ministério da Ciência e Tecnologia), através da Portaria nº 728, de 20 de novembro de 2007, foi idealizada tendo como objetivo principal a geração e disseminação de conhecimentos sobre as mudanças climáticas globais, incluindo a produção de informações para formulação de políticas públicas, além de dar apoio à diplomacia brasileira nas negociações internacionais sobre o tema. Em 2009, foi incluída como um instrumento de implementação da Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), previsto no artigo 7º da Lei nº 12.187/2009.

Nesse contexto, a Rede Clima tem como objetivos específicos: (i) gerar e disseminar conhecimentos e tecnologias para que o Brasil possa responder aos desafios representados pelas causas e efeitos das mudanças climáticas globais; (ii) gerar cenários futuros globais e regionais de mudanças climáticas através de técnicas de modelagem do sistema terrestre; (iii) produzir dados e informações necessárias ao apoio da diplomacia brasileira nas negociações sobre o regime internacional de mudanças do clima; (iv) realizar estudos sobre os impactos das mudanças climáticas globais e regionais no Brasil com ênfase nas vulnerabilidades do País às mudanças climáticas; (v) estudar alternativas de adaptação dos sistemas sociais, econômicos e naturais do Brasil às mudanças climáticas; (vi) pesquisar os efeitos de mudanças no uso da terra e nos sistemas sociais, econômicos e naturais nas emissões brasileiras de gases que contribuem para as mudanças climáticas globais; (vii) contribuir para a formulação e acompanhamento de políticas públicas sobre mudanças climáticas globais no âmbito do território brasileiro; (viii) contribuir para a concepção e a implementação de um sistema de monitoramento de alertas de desastres naturais para o país; (ix) realizar estudos sobre emissões de gases de efeito estufa em apoio à realização periódica de inventários nacionais de emissões de acordo com o Decreto nº 7.390 de 9 de dezembro de 2010; (x) promover a integração das pesquisas realizadas pelas sub-redes da Rede Clima de forma transversal; (xi) contribuir para a concepção e implementação de sistemas observacionais para detecção de impactos das mudanças climáticas, atribuição de suas causas e de seus efeitos nos sistemas humanos e naturais; e (xii) apoiar os trabalhos do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas.

A Rede Clima envolve dezenas de grupos de pesquisa em universidades e institutos. Estas estão distribuídas nas diversas regiões do país, o que provê capilaridade para a Rede, assim como potencializa a transferência e a difusão das informações geradas. Está estruturada em 15 sub-redes temáticas, a saber: Agricultura, Biodiversidade e Ecossistemas, Cidades e Urbanização, Desastres Naturais, Desenvolvimento Regional, Economia, Energias Renováveis, Modelagem Climática, Oceanos, Políticas Públicas, Recursos Hídricos, Saúde, Serviços Ambientais dos Ecossistemas, Usos da Terra e Zonas Costeiras. Também desenvolve pesquisas transversais, por meio de projetos integrativos, tais como: Segurança Hídrica, Alimentar e Energética (PI SHAE) e Segurança Socioambiental (PI SSA).

Em dezembro de 2021, através da Portaria MCTI nº 5.434, foi determinado que a Rede Clima, dentre outras finalidades, passaria também a subsidiar o planejamento do Estado com relação às demandas sobre as mudanças climáticas, em especial aquelas relacionadas aos estudos de impactos, adaptação e vulnerabilidade para sistemas e setores relevantes, tais como a detecção e atribuição de causas; entendimento da variabilidade natural versus mudanças climáticas de origem antrópica; ciclo hidrológico e ciclos biogeoquímicos globais e aerossóis; capacidade de modelagem do sistema climático; estudos de impactos, adaptação e vulnerabilidade para sistemas e setores relevantes, quais sejam: agricultura e silvicultura, recursos hídricos, biodiversidade e ecossistemas, zonas costeiras, cidades, economia, energias renováveis e saúde; e desenvolvimento de conhecimento e tecnologias para a mitigação dos efeitos das mudanças climáticas.

O posicionamento da Rede Clima como organização-chave no subsídio de informações à tomada de decisão do governo federal se evidencia, também, em ações relacionadas: (a) à elaboração do Inventário Nacional de Gases de Efeito Estufa (GEE); (b) à elaboração do Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima (PNA); (c) ao desenvolvimento, atualização e verificação das metas assumidas no Acordo de Paris (NDC); (d) à avaliação de vulnerabilidade e riscos às mudanças ambientais e climáticas dos diferentes biomas brasileiros e de áreas específicas; (e) à participação como membro da Rede Internacional de Centros de Excelência e Think Tanks para a Capacitação sobre Mudanças Climáticas (*The International Climate Change Centre of Excellence and Think Tanks for Capacity Building - INCCCETT 4CB*); (f) à parceria científica estabelecida com o *InterAmerican Institute for Climate Change Research (IAI)* (g) à sua inclusão (e do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas - PBMC) como organismos nacionais responsáveis por subsidiar o Fórum Brasileiro de Mudança do Clima (FBMC), conforme Decreto nº 9.082, de junho de 2017; (h) à contribuição ao Plano de Ação em CT&I para o Clima, o qual servirá de base para a melhoria do Plano Plurianual, através da revisão das metas; (i) à colaboração e participação no processo de implementação no Brasil dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS); (j) à contribuição para atualização Inventário Nacional de Emissões de Gases de Efeito Estufa – Setor Agricultura e Energia (sub-redes de Agricultura e Energias Renováveis, respectivamente); (k) à participação e elaboração dos textos relacionados às mudanças climáticas para Diagnóstico Brasileiro sobre Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos, que vem sendo elaborado pelo Painel Brasileiro de Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos – BPBES; e (l) às contribuições com o Ministério do Meio Ambiente no capítulo de Biodiversidade e Ecossistemas do Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima; às contribuições e parcerias com o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade na avaliação da vulnerabilidade de unidades de conservação frente às mudanças climáticas; participando como ator-chave nas discussões sobre *International Linking Climate Change and National Accounting* – capitaneadas pelo PNUD, IPEA, IBGE, e outros órgãos da administração pública brasileira.

Outra importante contribuição da Rede Clima foi à coordenação e outras atividades científicas relacionadas à elaboração da 4ª Comunicação Nacional para UNFCCC (4CN). E, por solicitação do MCTI, a Rede Clima coordenará cientificamente a elaboração da 5ª Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (5CN).

No início de 2023, vinculado à Rede Clima, houve a aprovação e implantação do SiMAClim - Centro de Síntese em Mudanças Ambientais e Climáticas (https://simaclim.com.br/), que vai gerar informações e preencher lacunas de conhecimento científico nacional criteriosamente identificadas. O projeto, estruturado pela área de clima do MCTI, será implementado pela Rede Clima a partir da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

Em meados de 2023, a Rede Clima assume assento no Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima (CIM). A ação foi formalizada em decreto presidencial (Decreto nº 11.550, de 5 de junho de 2023), com o objetivo de aproximar a ciência dos tomadores de decisão e contribuir para a definição das políticas públicas. O CIM é a instância responsável por acompanhar a implementação das ações e das políticas públicas relacionadas à Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), no âmbito do governo federal.

Em suma, a Rede Clima atua como braço científico em diversas iniciativas desenvolvidas pelo MCTI, agregando significativa contribuição de cunho científico. As contribuições da Rede Clima permitem apoiar e subsidiar o Estado brasileiro nas tomadas de decisão relacionadas ao tema.



Velho Chico (Rio São Francisco)//Stockphoto

Os projetos integrativos da Rede Clima

Os projetos integrativos surgiram com objetivo de promover maior interação das sub-redes da Rede Clima em torno de análises que contemplam a transversalidade da temática das mudanças climáticas (Portaria MCTI nº 787, de 3/9/2015). Cada projeto integrativo é coordenado por um grupo de pesquisadores participantes da Rede Clima, indicados pelo conjunto de coordenadores da Rede e aprovados pelo Conselho Diretor (Portaria MCTI nº 787, de 3/9/2015).

Atualmente, dois projetos integrativos estão sendo desenvolvidos: (a) PI de Segurança Socioambiental e (b) PI de Segurança Hídrica, Alimentar e Energética. Os projetos integrativos se concentram na Bacia do Rio São Francisco (BHSF), seguindo orientação do Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI).

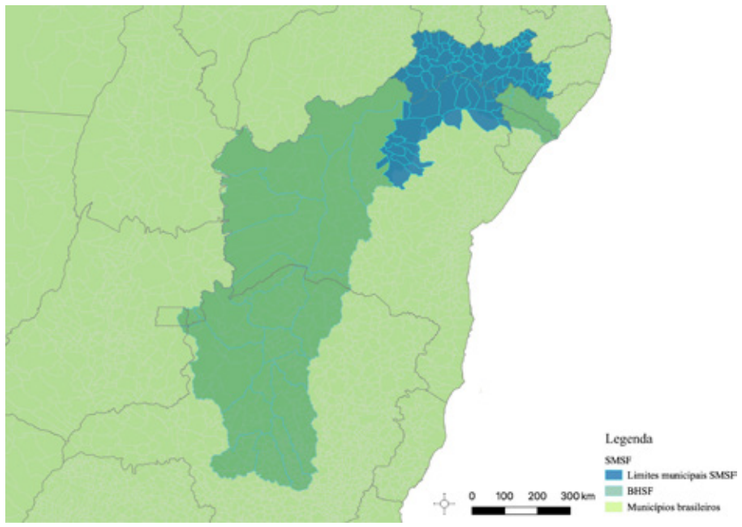
A escolha da área de estudo se deu em função de alguns fatores, entre os quais se destacam a necessidade de implementação de medidas de revitalização da BHSF, a partir do projeto de transposição; o papel chave da bacia na adaptação de uma vasta região do semiárido do Nordeste; e a incidência de diversas áreas consideradas suscetíveis à desertificação.

A Bacia do Rio São Francisco

O curso principal do rio São Francisco tem extensões de 2.814 km entre as cabeceiras, no município de São Roque de Minas (MG), e de 2.863 km pelo rio Samburá, no município de Medeiros (MG), e a foz, entre os estados de Alagoas e Sergipe, onde se observa uma vazão média anual de 2.980 m3/s, o que corresponde a uma descarga média anual da ordem de 94 bilhões de m³ (CODEVASF, 2017).

A região hidrográfica do São Francisco estende-se pelos estados de Minas Gerais, Bahia, Pernambuco, Sergipe, Alagoas, Goiás e o Distrito Federal, inseridos nas regiões Nordeste, Sudeste e Centro-Oeste. A área total é de 638.576 km² (7,5% do território nacional) (ANA, 2013), onde se distribuem 521 municípios com população de 18.218.575 habitantes (IBGE, 2010). Desses municípios, 409 se inserem totalmente dentro do vale e os 96 restantes estão parcialmente inseridos, ou seja, seus territórios ultrapassam os limites estabelecidos (CODEVASF, 2017).

Figura 1: Bacia do Rio São Francisco.



Fonte: Lopes Ferreira (2020), imagem cedida pela autora.



Jardineiros trabalhando na fazenda comunitária/iStockphoto

O Projeto Integrativo Segurança Hídrica, Alimentar e Energética (PISHAE) na Bacia Estendida do Rio São Francisco: diagnóstico utilizando a metodologia Nexus

Introdução

O Relatório de Insegurança Alimentar no Mundo de 2014, publicado pela FAO, revela que o Brasil reduziu de forma muito expressiva a fome, a desnutrição e a subalimentação no período de 2007 a 2011, quando atingiu 15% da população (NERI, 2022). Entretanto, voltou a crescer em 2012, e depois de uma leve queda em 2015, quando alcançou 17% da população, vem crescendo desde então. Em 2021, a fome no Brasil atingiu 36% da população, conforme o estudo da FGV Social (NERI, 2022). O resultado observado da fome no Brasil vem ao encontro do que diversos estudos sobre o tema, com diferentes indicadores, já apontavam, como o Relatório de Desenvolvimento Humano 2014, publicado pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD); e o Relatório Nacional de Acompanhamento dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio, organizado pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), para citar apenas alguns.

A Política Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional (PNSAN), instituída em 2008, ganhou impulso no Brasil por meio de marcos legais; da criação de um ambiente institucional que facilitou a cooperação e a coordenação entre os ministérios e as diferentes esferas de governo, com responsabilidades definidas; de maiores investimentos em áreas como agricultura familiar; e do forte envolvimento da sociedade civil no processo político.

Um dos marcos foi a promulgação da Lei Orgânica da Segurança Alimentar e Nutricional, em 2006. A lei define segurança alimentar e nutricional como "a realização do direito de todos ao acesso regular e permanente a alimentos de qualidade, em quantidade suficiente, sem comprometer o acesso a outras necessidades essenciais, tendo como base, práticas alimentares promotoras da saúde que respeitem a diversidade cultural e que sejam ambiental, cultural, econômica e socialmente sustentáveis" (Art. 3º). A amplitude dessa definição foi traduzida nas políticas e programas de governo, que incluíram ações que iam desde fomentar modelos agrícolas sustentáveis à educação alimentar e nutricional, abordagem que moldou o PNSAN, que está atualmente em sua segunda edição (2010).

Uma lei brasileira especial na matéria de segurança alimentar e nutricional

A Lei nº 11.346, de 15 de setembro de 2006 cria o Sistema Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional – SISAN com vistas a assegurar o direito humano à alimentação adequada e dá outras providências. Essa lei, entre outros dispositivos, prevê que a "(...) alimentação adequada é direito fundamental do ser humano, inerente à dignidade da pessoa humana e indispensável à realização dos direitos consagrados na Constituição Federal, devendo o poder público adotar as políticas e ações que se façam necessárias para promover e garantir a segurança alimentar e nutricional da população." (Art. 2º, *caput*); e "(...) § 1º A adoção dessas políticas e ações deverá levar em conta as dimensões ambientais, culturais, econômicas, regionais e sociais." (Art. 2º, § 1º).

Este box faz parte dos apontamentos e contribuições da sub-rede Políticas Públicas, no âmbito específico do Direito e das políticas públicas.

Fonte: Elaborado e inserido pela sub-rede Políticas Públicas (Flavia Witkowski Frangetto e Gustavo Luedemann).

Na esfera internacional, apontam-se quatro dimensões da segurança alimentar e nutricional (SAN): i) disponibilidade do alimento; ii) acesso ao alimento; iii) utilização dos alimentos e dos nutrientes, e iv) estabilidade, que é uma dimensão transversal às outras três. É necessário garantir primeiro a disponibilidade de alimentos suficientes para toda a população, o que envolve questões de produção, comércio nacional e internacional, abastecimento e distribuição de alimentos.

Nesse contexto, a mudança do clima representa um imenso desafio à produção e à disponibilidade de alimentos, em cenários nos quais a disponibilidade de recursos naturais (como água e solo) e a geração de energia também são ameaçadas, na medida em que os efeitos adversos da mudança do clima afetam a oferta de água, a produtividade e produção das culturas agrícolas, e ameaçam a segurança alimentar no mundo.

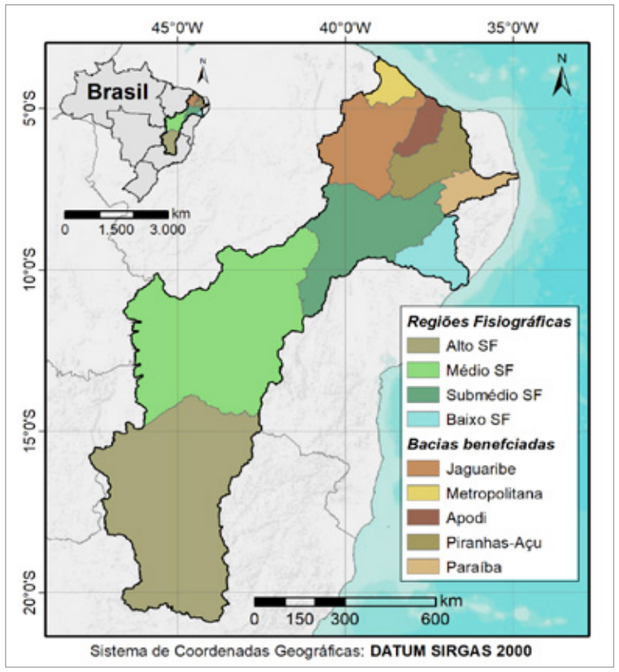
Um aspecto de séria ameaça às seguranças hídrica, alimentar e energética, no Brasil e no mundo, é o crescimento populacional. Estimativas apontam para uma população de 9 bilhões de pessoas no mundo até 2050, sendo que 6 bilhões viverão em cidades e apenas 3 bilhões, no campo.

Buscando fornecer subsídios para garantir a estabilidade e o aumento da produção e da produtividade da produção de alimentos no Brasil e no mundo, o Projeto Integrativo Segurança Hídrica, Alimentar e Energética (PISHAE) buscou soluções para intensificar a produção agrícola do Brasil, de forma sustentável e totalmente integrada à manutenção e bom uso dos recursos hídricos e à geração de energia, diante desse cenário de aquecimento global e mudanças climáticas.

Para abordar o problema da segurança hídrica, alimentar e energética, utilizou-se neste projeto a Bacia Estendida do Rio São Francisco (BESF). Isto porque essa bacia abrange três biomas brasileiros (Cerrado, Caatinga e Mata Atlântica), e a metodologia adotada pode ser aplicada em outras bacias do país.

O projeto de integração do rio São Francisco com bacias do Nordeste Setentrional constitui-se de dois eixos de ligação: o Eixo Norte e o Eixo Leste. As águas são captadas no estado de Pernambuco, entre as barragens de Sobradinho e Itaparica, e destinadas ao abastecimento de parte do Semiárido, do Agreste Pernambucano e da Região Metropolitana de Fortaleza (BRASIL, 2004). As bacias hidrográficas beneficiadas pelo projeto são apresentadas na Figura 2.

Figura 2: Caracterização da Bacia Estendida do Rio São Francisco.



Fonte: Souza Filho, F. A. et al. (2022).



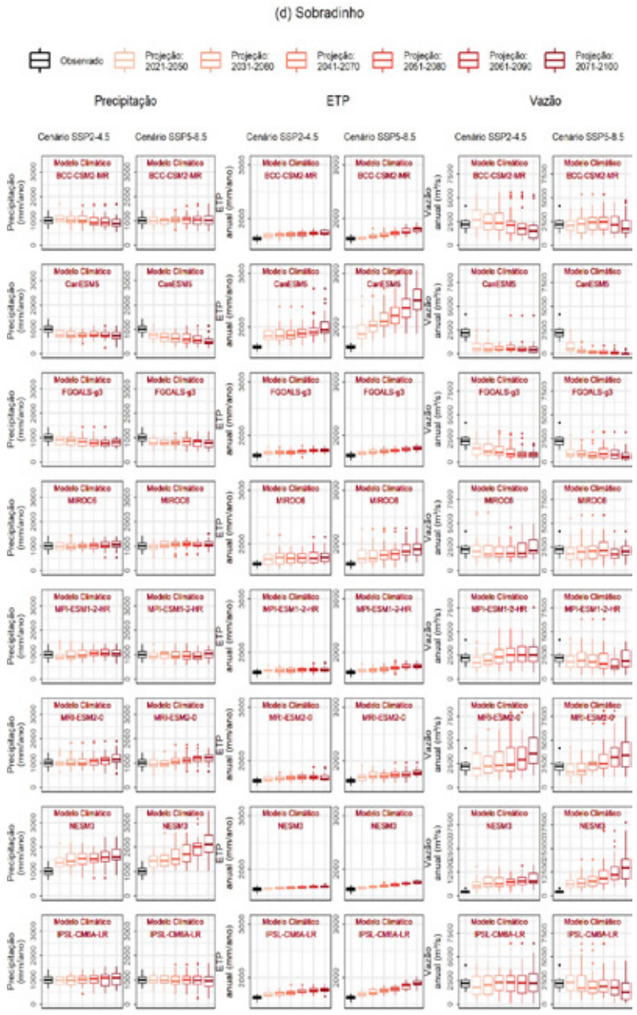
Foto: Fabricio Ferreira Silva, https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0

Destaques científicos

1 – Vazão

Os modelos de mudança climática do CMIP6 projetam, para a Bacia do Rio São Francisco, aumento consistente de temperatura ao longo do século XXI, seguindo a tendência global. Consequentemente, é projetado um aumento de evapotranspiração potencial (ETP). Por outro lado, os oito modelos avaliados (Figura 3) variam no sentido das tendências, não sendo coincidentes em relação ao sentido da tendência projetada para o regime de precipitações da região. Ainda assim, pelo menos quatro modelos apontam para variações significativas na precipitação média (entre -48% e +119%). O regime de vazões mostrou que as tendências projetadas para a precipitação e a ETP são combinadas e resultam em tendência de variação mais intensas no regime de vazões, com os modelos mais extremos apontando variações que chegam a -97% e a 627%.

Figura 3: Evolução temporal das variáveis hidrológicas (precipitação, ETP e vazão) projetadas por oito MCGs nos cenários SSP2-4.5 e SSP5-8.5 no reservatório de Sobradinho.



Fonte: Souza Filho, F. A. et al. (2022).

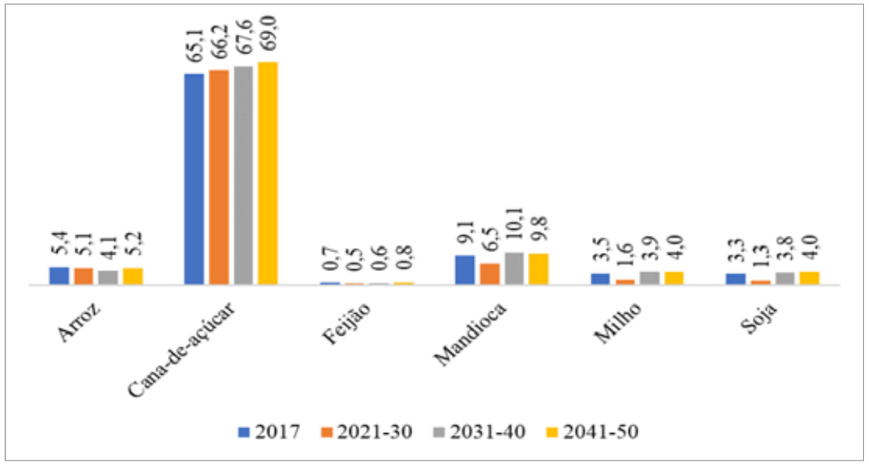
2 - Produtividade

Foi realizado o levantamento dos dados relacionados à pecuária (rebanhos) e agricultura (área colhida, produção e produtividade das culturas de arroz, cana-de-açúcar, feijão, mandioca, milho e soja) para o período de 2005 a 2017, bem como geradas as projeções dessas variáveis diante de cenários de mudança do clima. Para estimar a produtividade para a BESF, foram usadas as bases de dados de clima de Xavier (2015) e o modelo climático global HadGEM2-ES. Ambos contêm 11.299 pontos gradeados em 0,25° e sua importância está nas informações diárias sobre parâmetros climáticos como temperatura máxima, temperatura mínima e precipitação pluviométrica.

Considerando os dados médios de todos os municípios da BESF, as simulações com cenários de mudanças do clima apontam para o aumento na produtividade da maioria das culturas na região. Apenas a cultura do arroz apresentou redução nos níveis de produtividade. Comparando o período 2041-2050 com 2017 (ano base), estimou-se redução média de 3,4%. Já as demais culturas deverão apresentar ganhos de produtividade de 5,9%, 10,8%, 8,2%, 14,7% e 21,1% para cana-de-açúcar, feijão, mandioca, milho e soja, respectivamente. A produtividade aumenta, porém, a intensidade dos fenômenos extremos aumentará o índice de perda por município.

Impactos da mudança do clima: tema de esclarecimento no diálogo Administração Pública e administrados

Figura 4: Produtividade agrícola atual e projetada (t ha^{-1}) das principais culturas na BESF em 2017 e com base nos cenários de mudanças do clima.



Fonte: Souza Filho, F. A. et al. (2022).

Já as pastagens apresentaram tendência a aumento na produtividade de biomassa no período de 2031-40, com mediana indicando produtividade de 11.159,31 kg ha-1, com pequena redução no período de 2041-50 na BESF.

Um conteúdo importante a constar de política pública é a elucidação (i) da limitação de uma visão local de impressão de o ambiente estar saudável, a ponto de haver aumento da produção; e (ii) dos efeitos da intensidade dos fenômenos extremos, de modo a se afastarem falácias de que a mudança do clima teria o condão de trazer "vantagens". Discernir esses dois itens pode ser tarefa levada aos processos administrativos em que a Administração Pública revele aos administrados as consequências de curto, médio e longo prazos; e reforce a necessidade de prevenir a mudança do clima. A Lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999, que dispõe sobre a educação ambiental e institui a Política Nacional de Educação Ambiental, pode servir de fundamento legal para endereçar a atuação do Poder Público nesse sentido, dado estar incumbido de "definir políticas públicas que incorporem a dimensão ambiental, promover a educação ambiental em todos os níveis de ensino e o engajamento da sociedade na conservação, recuperação e melhoria do meio ambiente" (Art. 3º, inc. I).

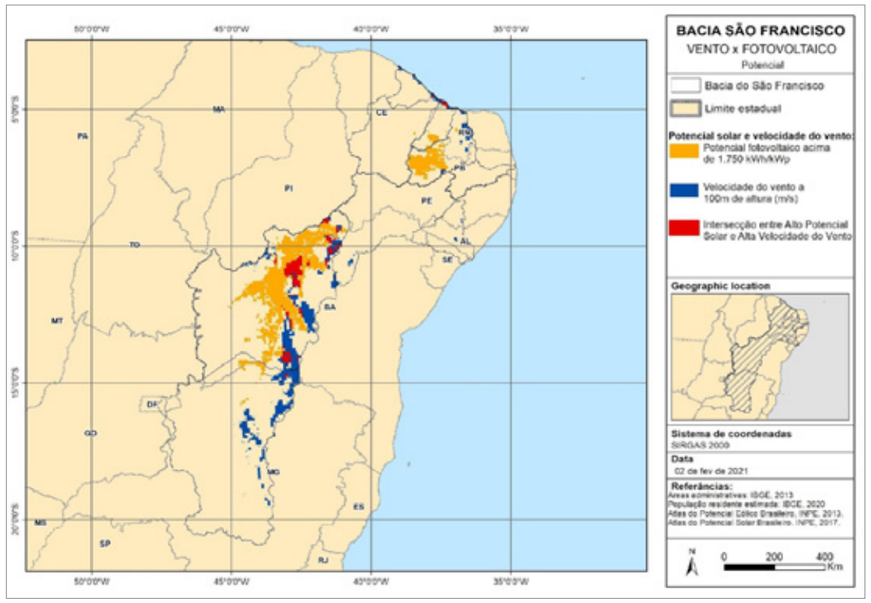
Este box faz parte dos apontamentos e contribuições da sub-rede Políticas Públicas, no âmbito específico do Direito e das políticas públicas.

Fonte: Elaborado e inserido pela sub-rede Políticas Públicas (Flavia Witkowski Frangetto e Gustavo Luedemann)

3 – Energia

Para a avaliação da segurança energética, foram verificados o impacto da redução da vazão na geração de energia hidroelétrica e o potencial de geração de energia eólica e solar. A avaliação da geração da energia eólica e solar foi muito positiva, indicando o potencial de geração em vários pontos da bacia. Foram então mapeadas as regiões onde seriam encontrados o máximo de geração de energia eólica com velocidade do vento acima de 100 metros em m/s e a geração de energia fotovoltaica acima de 1750 KWh/KWp. O resultado final é a intersecção dos dois tipos de energia, indicando as áreas de maior potencial (Figura 5).

Figura 5: Mapa mostrando a combinação do potencial de geração de energia eólica e fotovoltaica na BESF.



Fonte: Souza Filho, F. A. et al. (2022).

Principais resultados



Pôr do sol da plantação da cana-de-açúcar/iStockphoto

O PISHAE resultou no livro Nexus Clima, Recursos Hídricos, Agricultura e Energia na Bacia Estendida do Rio São Francisco, UFC/CNPq (2022), constituído de 40 capítulos. Nesta publicação dos 15 anos da Rede Clima, será dada ênfase aos principais resultados obtidos pelos membros e parceiros das sub-redes Agricultura e Recursos Hídricos.

Os principais resultados dos trabalhos sobre caracterização espaço-temporal da Bacia Estendida do Rio São Francisco, usando os produtos do MapBiomas (https://mapbiomas.org/). Em seguida serão abordados aspectos sobre a percepção das secas como forma de subsídio à segurança hídrica e o impacto das mudanças climáticas nas vazões da BESF. Serão apresentados resultados relacionados à produção agropecuária, às emissões de gases de efeito estufa (GEE), ao sequestro de carbono pelo solo e, por fim, resultados sobre o potencial de geração de energia eólica e solar.

Caracterização espaço-temporal da BESF

Partindo da necessidade de mapas de LULC (do inglês: *Land Use and Land Cover*) para toda a BESF, este trabalho mostra a estruturação, reclassificação e validação dos mapas anuais de LULC do MapBiomas para a Bacia Estendida do São Francisco.

As séries de dados utilizados na caracterização da BESF correspondem às coleções 3.1 e 4.1 (1984 a 2018). A classificação adotada pelo MapBiomas subdivide-se em 27 classes. Entretanto, como no âmbito do projeto as classificações seriam utilizadas em simulações e modelagens diversas, optou-se por agrupar as classes em grupos mais abrangentes. Alguns grupos foram compostos apenas por uma classe de interesse do projeto, como as seis classificações de uso agropecuário e a classe de infraestrutura urbana. A Figura 6 ilustra o código de legenda adotado e a composição dos grupos de LULC adotados na operação de reclassificação.

Figura 6: Códigos de legenda após reclassificação dos produtos MapBiomas.

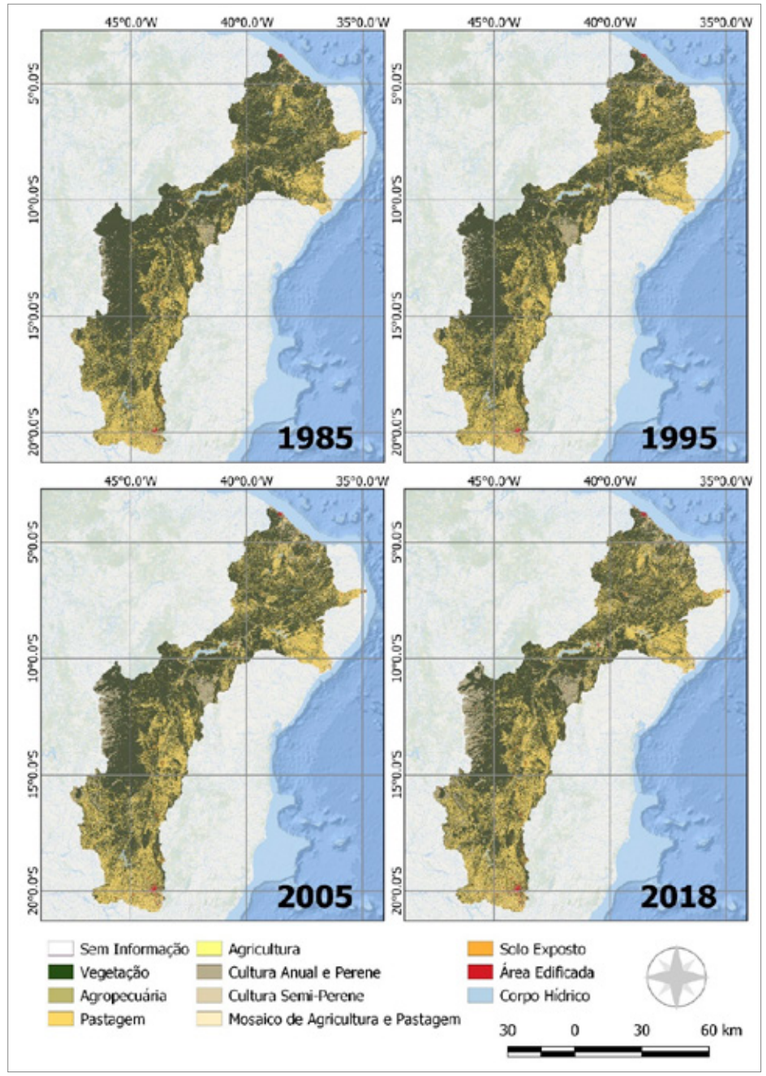
CÓDIGO	GRUPO DE USO E COBERTURA DO SOLO	CLASSES MAPBIOMAS UTILIZADAS
0	Sem Informação	Área não observada
1	Vegetação	Floresta, floresta natural, formação florestal, formação savânica, mangue, floresta plantada, formação natural não florestal, formação campestre, apicum, outra formação natural não florestal
2	Agropecuária	Agropecuária
3	Pastagem	Pastagem
4	Agricultura	Agricultura
5	Cultura Anual e Perene	Cultura anual e perene
6	Cultura Semi-Perene	Cultura semi-perene
7	Mosaico de Agricultura e Pastagem	Mosaico de agricultura e pastagem
8	Solo Exposto	Área não vegetada, praia e duna, afloramento rochoso, mineração, outra área não vegetada
9	Área Edificada	Infraestrutura urbana
10	Corpo Hídrico	Corpos d'água, rio, lago, oceano, aquicultura

Fonte: Souza Filho, F. A. et al. (2022).

Dada a disponibilidade de dados de mapeamento de uso e cobertura do solo anuais, o MapBiomas permite aos interessados analisar mudanças e transições de uso nas mais diversas escalas geográficas, desde uma escala local micro até uma escala regional ou nacional. Nota-se que há uma série de complexidades envolvidas tanto no que se refere às mudanças de uso e cobertura do solo quanto à recém formação da BESF.

O estudo aponta que, entre 1985 e 2018, a maior mudança observada refere-se à redução de vegetação, que atingiu pouco mais de 3% da área total da bacia hidrográfica estendida. Já a agropecuária, por sua vez, cresceu pouco menos de 2% de área. Outro fator que merece destaque é que, à medida que a infraestrutura urbana se expandiu, os corpos hídricos diminuíram na mesma proporção, em torno de 0,08%.

Figura 7: Uso e cobertura do solo para os anos de 1985, 1995, 2005 e 2018 na Bacia Estendida do Rio São Francisco.



Fonte: Souza Filho, F. A. et al. (2022).

Todos os 34 mapas extraídos do MapBiomas puderam ser quantificados e utilizados pelos diversos pesquisadores da equipe do projeto como entrada de modelos de simulação (estoque de carbono, modelos hidrológicos etc.). As possibilidades de uso em subdivisões da BESF como as sub-bacias permitiram análises diversas, que podem ser observadas em vários capítulos do livro Nexus Clima, Recursos Hídricos, Agricultura e Energia na Bacia Estendida do Rio São Francisco, UFC/CNPq (2022) (Acesso: https://zenodo.org/record/6794700#.YxJiC3bMLi0).

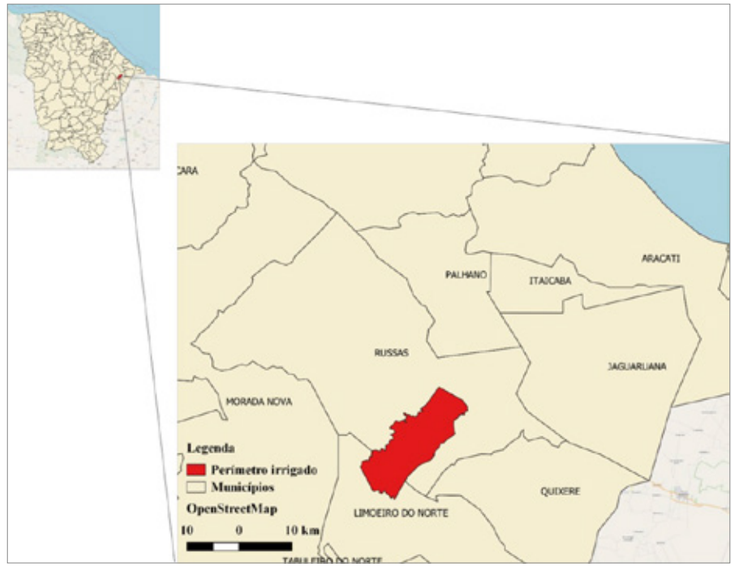
Percepção das secas como subsídio à segurança hídrica

A gestão eficiente dos recursos e a adoção de uma base robusta e confiável, tanto no tocante ao planejamento e à tomada de decisões, quanto à alocação eficiente da água, fazem-se necessárias à sobrevivência e à manutenção do sistema de produção, por exemplo, irrigado, implantado em diversas regiões do Nordeste. Para isso, a compreensão da percepção dos usuários desse sistema passa a ser vista como necessária ao desenvolvimento de mecanismos proativos de adaptações às secas, como também na elaboração de políticas de gestão de seca e no desenvolvimento de um sistema holístico e eficiente de alerta precoce ao risco.

Nesse sentido, o PISHAE buscou identificar e selecionar variáveis capazes de explicar a percepção das secas, por meio do uso de técnicas de aprendizado de máquina, algoritmos que possuem baixa restrição na sua aplicação, com reduzidas exigências no pré-processamento de dados, além de alta robustez, o que explica seu avanço e importância científica (VILLARIN E RODRIGUEZ-GALIANO, 2019). Portanto, o trabalho objetivou a compreensão da percepção numa perspectiva de ampliação de segurança hídrica, de modo a auxiliar no processo de tomada de decisões, somada à gestão participativa na manutenção da disponibilidade hídrica adequada ao uso.

O estudo foi aplicado no Perímetro Irrigado Tabuleiro de Russas, que está localizado nos municípios de Russas, Limoeiro do Norte e Morada Nova (Figura 8), a 160 km de Fortaleza (CE). O perímetro possui uma área total de 18.276 ha, sendo um dos principais perímetros do Ceará.

Figura 8: Localização do perímetro irrigado Tabuleiro de Russas.

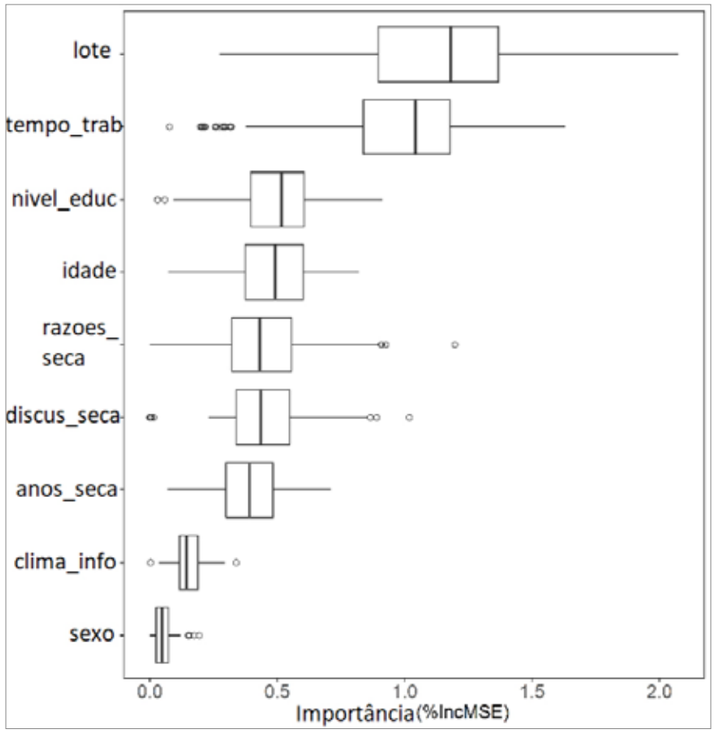


Fonte: Souza Filho, F. A. et al. (2022).

Uma análise das séries históricas (1911-2018) permitiu inferir a respeito do aumento da duração das secas, além do aumento da frequência das secas. Tomando esses critérios, e em acordo com os questionários, as classes de percepção puderam ser definidas e tabuladas. A percepção foi caracterizada a partir de nove variáveis explicativas: sexo, idade, tempo_trab (tempo de trabalho), educ_nível (nível de escolaridade), num_lote (número do lote), anos_seca (anos de seca observados), razoes_seca (principais razões para a seca_) , clima_info (informações do clima), discus_seca (discussões sobre a seca). Todo o detalhamento das variáveis pode ser encontrado em https://zenodo.org/record/6794700#.YxJiC3bMLi0, no livro já citado anteriormente.

Em relação à duração (Figura 9), observou-se como número de lotes ativos pertencentes ao agricultor e o tempo de trabalho deste na agricultura como as variáveis explicativas mais importantes para a identificação das secas. A opinião acerca do motivo das secas, assim como a idade do participante e o nível de escolaridade também se mostraram relevantes em importância para a percepção dos agricultores. Todas as variáveis mostraram importância positiva na percepção, sendo a variável sexo a de menor relevância.

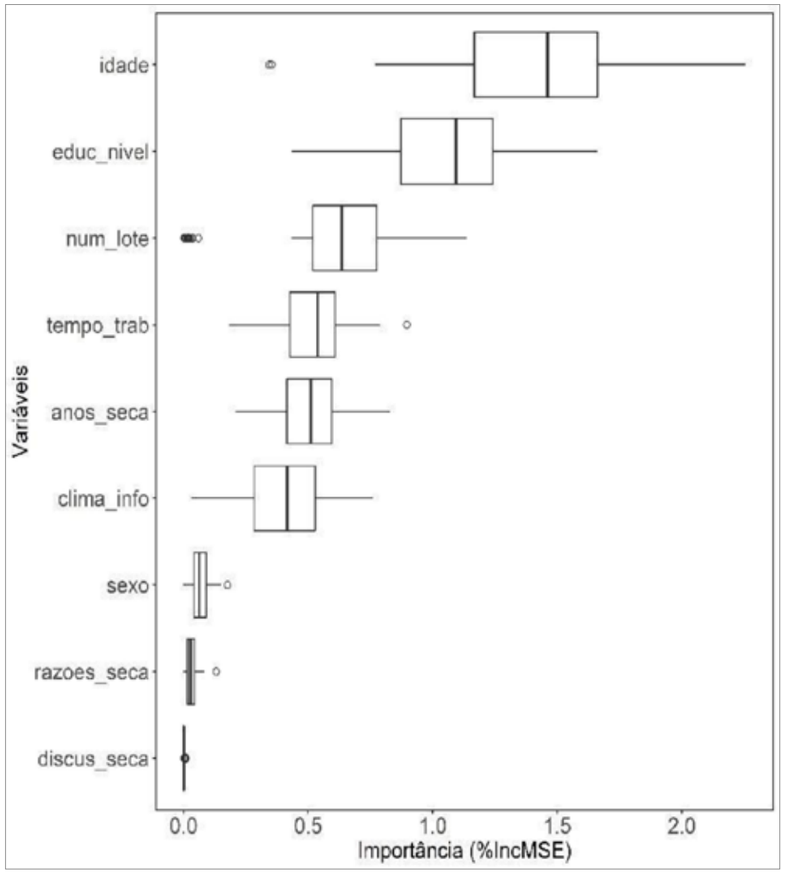
Figura 9: Box plot das variáveis em função das importâncias para a duração das secas.



Fonte: Souza Filho, F. A. et al. (2022).

No que se refere à percepção, tomando como parâmetro a frequência das secas (Figura 10), o estudo mostrou que as variáveis idade, nível educacional e número de lotes ativos são consideradas as mais importantes para a percepção dos entrevistados. Números de secas vividas, tempo de trabalho com a agricultura e número de informações climáticas seguem, de forma gradativa, na ordem de importância. Todas as variáveis se mostraram positivas em relação à sua importância para a percepção, sendo a participação em grupos de discussão a de menor relevância sobre os dados.

Figura 10: Box plot das variáveis em função das importâncias para a frequência das secas.



Fonte: Souza Filho, F. A. et al. (2022).

As variáveis número de lotes, idade dos irrigantes e nível educacional coincidiram entre as cinco variáveis mais importantes para os dois critérios de análise (duração e frequência de secas). É compreensível que o aumento no número de lotes seja um fator preponderante no que tange ao acesso a tecnologias e métodos mais eficazes de irrigação, implicando na forma como o irrigante poderá sentir e observar a seca. A segunda variável, idade, também detém um papel importante na compreensão da percepção, uma vez que a idade dos irrigantes está associada à experiência do irrigante com os diversos cenários de seca vividos.

O trabalho revela-se importante ao identificar as variáveis mais influentes na compreensão da percepção dos irrigantes de forma técnica, podendo ser replicado em outras regiões, de forma a auxiliar em seu processo de adaptação aos cenários de déficit hídrico. Além disso, a análise das variáveis explicativas pode ser adotada na formulação de estratégias de alocação de água, posto que se trata de uma gestão participativa. A percepção dos irrigantes pode, ainda, ser incorporada na elaboração de planos de preparação para a seca e na adoção de medidas educacionais que venham a conscientizar sobre o uso da água e as ferramentas de adaptação às secas.

Impacto das mudanças climáticas no regime de vazões

As mudanças climáticas são um fenômeno global, de causa antrópica, com impactos que devem comprometer a forma atual de produção econômica e organização social no planeta. Projetar e quantificar esses impactos são etapas necessárias à construção de estratégias de mitigação. Na Bacia do Rio São Francisco, o intricado Nexus Água-Energia-Alimento torna o sistema socioambiental ainda mais sensível às mudanças climáticas. Dentre os impactos projetados, as mudanças no regime de vazões têm implicação sobre a oferta hídrica para a produção de alimentos e energia.

No PISHAE, as projeções de Modelos Climáticos Globais (MCGs) disponibilizadas no sexto ciclo do *Coupled Model Intercomparison Project* (CMIP6) foram combinadas à modelagem chuva-vazão para avaliar os impactos das mudanças climáticas sobre o regime de vazões na Bacia do Rio São Francisco. Os impactos foram avaliados especificamente sobre as bacias hidrográficas afluentes aos reservatórios Três Marias, Sobradinho, Retiro Baixo e Queimado.

No CMIP6, os cenários para a avaliação das mudanças climáticas combinam as trajetórias de emissão, representadas pelas Trajetórias de Concentração Representativas (RCPs, na sigla em inglês)[1], com possíveis dinâmicas sociopolíticas de desenvolvimento global, que podem contar com ações de mitigação ou resultar na intensificação dos impactos. As trajetórias sociopolíticas são condensadas em cinco cenários chamados de *Shared Socioeconomic Pathways* (SSPs) (RIAHI et al., 2017), que correspondem a narrativas para o desenvolvimento global.

Nesse estudo, foram considerados os cenários SSP 2 - 4.5 e SSP 5 - 8.5, que combinam, respectivamente, os cenários SSP 2 e SSP 5 com os RCPs 4.5 e 8.5. Dessa forma, foram representadas duas trajetórias distintas: uma primeira mais otimista e uma segunda considerando o nível de impacto mais intenso.

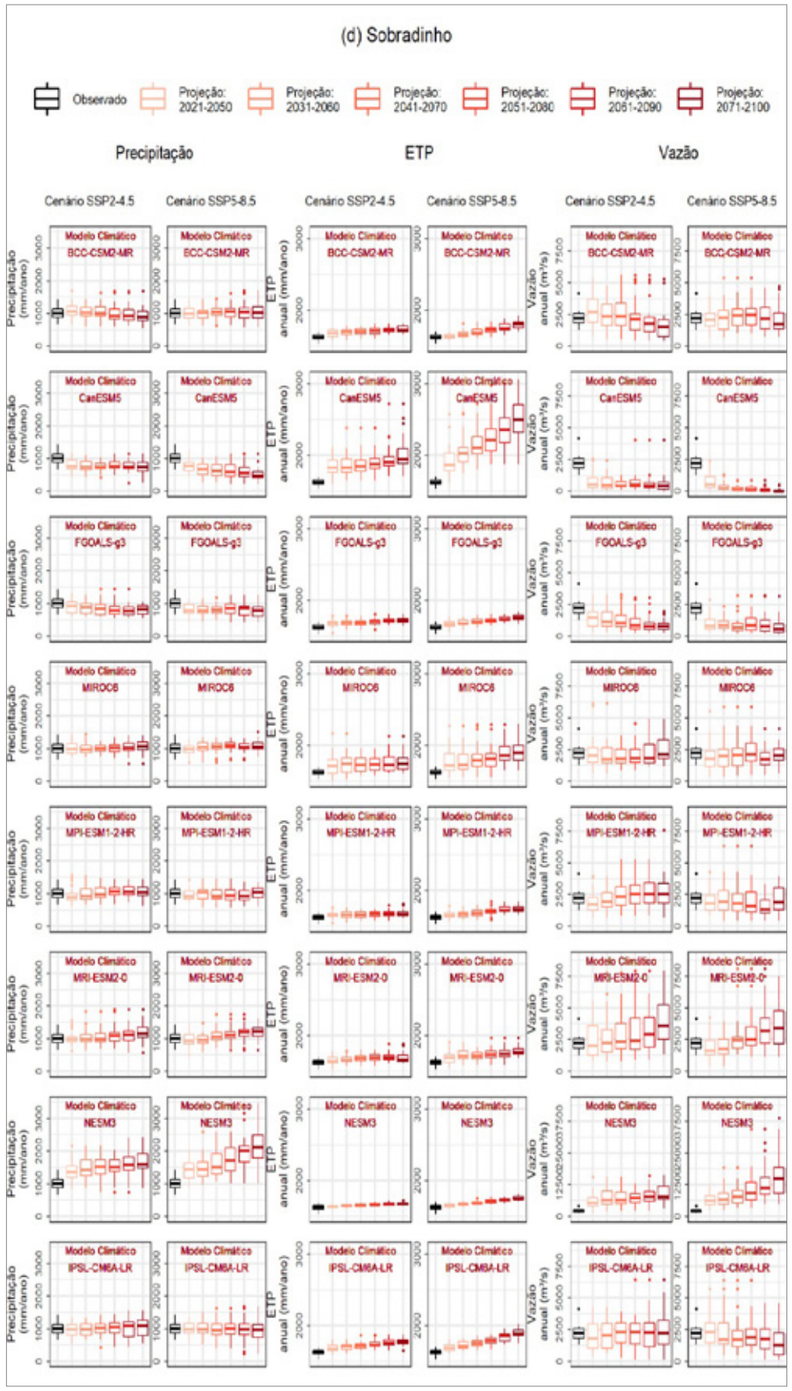
Para cada um desses cenários, foram considerados os oito modelos climáticos do CMIP6: BCC--CM2-MR, CanESM5, FGOALSg3, MIROC6, MPI-ESM1-2-HR, MRI-ESM2-0, NESM3 e IPSL-CM6A--LR. Foram extraídos de cada modelo os dados de precipitação e temperatura máxima e mínima, nas simulações históricas do modelo e nas projeções para o século XXI.

Nas simulações históricas, foi recortado o período 1980-2015, para os dados de precipitação, e o período 1980-2013, para os dados de temperatura. Já para as projeções, considerou-se o período 2021-2100, que foi repartido na análise em sub-períodos de 30 anos (com passo de 10 anos e sobrepostos de 20 anos), isto é, 2021-2050, 2031-2060, até 2071-2100.

A seguir são apresentados somente os resultados relacionados ao reservatório de Sobradinho (Figura 11). Os demais estão disponíveis no link https://zenodo.org/record/6794700#.YxJiC3b-MLi0.

[1] Cenários RCP (Representative Concentration Pathways) referem-se à porção dos patamares de concentração que se prolongam até 2100, para os quais os modelos de avaliação integrada produzem cenários de emissões correspondentes (IPCC, 2013).

Figura 11: Evolução temporal das variáveis hidrológicas (precipitação, ETP e vazão) projetadas por oito MCGs nos cenários SSP2-4.5 e SSP5-8.5 no reservatório de Sobradinho.



Fonte: Souza Filho, F. A. et al. (2022).

Os modelos de mudança climática do CMIP6 projetam, para a Bacia do Rio São Francisco, aumento consistente de temperatura ao longo do século XXI, seguindo a tendência global. Consequentemente, é projetado um aumento de evapotranspiração potencial - ETP. Por outro lado, os oito modelos avaliados não concordam em relação ao sentido da tendência projetada para o regime de precipitações da região.

O *framework* desenvolvido para avaliação do efeito das mudanças climáticas sobre o regime de vazões mostrou que as tendências projetadas para a precipitação e a ETP são combinadas e resultam em tendência de variação mais intensas no regime de vazões, com os modelos mais extremos apontando variações que chegam a -97% e a 627%. Variações significativas são observadas já no cenário SSP2-4.5, ocorrendo uma intensificação das tendências no cenário SSP5-8.5.

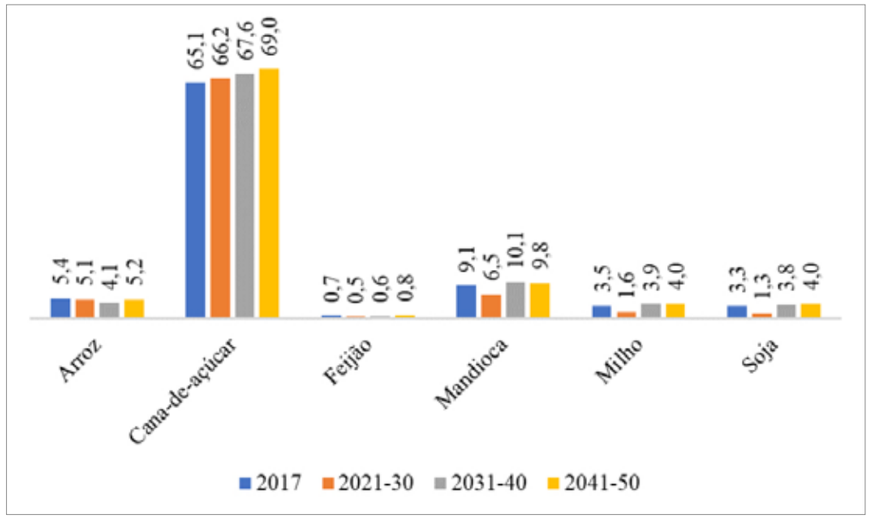
Ainda que as projeções divirjam sobre a tendência do regime de vazões, implicando grande incerteza na avaliação da oferta hídrica, a projeção de aumento da ETP implica aumento da demanda por unidade de área plantada, considerando a manutenção das técnicas de irrigação. Se a área total irrigada for mantida, haverá aumento da demanda. No pior dos cenários projetados, haverá diminuição de oferta (podendo chegar a -97%), acompanhada por crescimento da demanda, acirrando a competição entre os usos da água na região.

Indicadores da agropecuária: dados atuais e em cenários futuros de mudanças do clima

No contexto do PISHAE, foi realizado o levantamento dos dados relacionados à pecuária (rebanhos) e agricultura (área colhida, produção e produtividade das culturas de arroz, cana-de-açúcar, feijão, mandioca, milho e soja) para o período de 2005 a 2017, bem como, geradas as projeções dessas variáveis diante de cenários de mudança do clima. O levantamento desses dados teve dois objetivos: i) compilar os dados primários utilizados nas estimativas de emissões de gases do efeito estufa na BESF; ii) avaliar a dinâmica das atividades do setor agropecuária no período de 2005 a 2017, e os impactos das mudanças do clima nos indicadores de produção e produtividade na BESF. Para estimar a produtividade para a BESF, foram usadas as bases de dados de clima de Xavier (2015) e o modelo climático global HadGEM2-ES. Ambos contêm 11.299 pontos gradeados em 0,25° e sua importância está nas informações diárias sobre parâmetros climáticos como temperatura máxima, temperatura mínima e precipitação pluviométrica.

Serão apresentados aqui somente alguns resultados sobre os indicadores de produtividade das culturas agrícolas e pastagens, assim como, as projeções dos rebanhos. Considerando os dados médios de todos os municípios da BESF, as simulações com cenários de mudanças do clima apontam para o aumento na produtividade da maioria das culturas na região. Os modelos indicam aumento de chuva, mas a evapotranspiração aumenta também. No balanço final, o incremento da produtividade é positivo. Nos testes com o modelo CIMP6, há uma redução da oferta de chuva, para 5, 10 e 20 anos, até a década de 2030. Depois há uma retomada da chuva, chegando possivelmente aos valores da década anterior. Essas observações são possivelmente devidas a eventos naturais, com pouca relação com as emissões de gases de efeito estufa. Apenas a cultura do arroz apresentou redução nos níveis de produtividade. Por exemplo, comparando o período 2041-2050 com 2017 (ano base), estimou-se redução média de 3,4%. Já as demais culturas deverão apresentar ganhos de produtividade de 5,9, 10,8, 8,2, 14,7 e 21,1% para cana-de-açúcar, feijão, mandioca, milho e soja, respectivamente (Figura 12). As plantas têm sua própria adaptação às condições climáticas predominantes em seu ambiente, permitindo o desenvolvimento tecnológico que indique novas acomodações das culturas considerando o novo clima através de zoneamento de riscos climáticos para a agricultura na região da BESF.

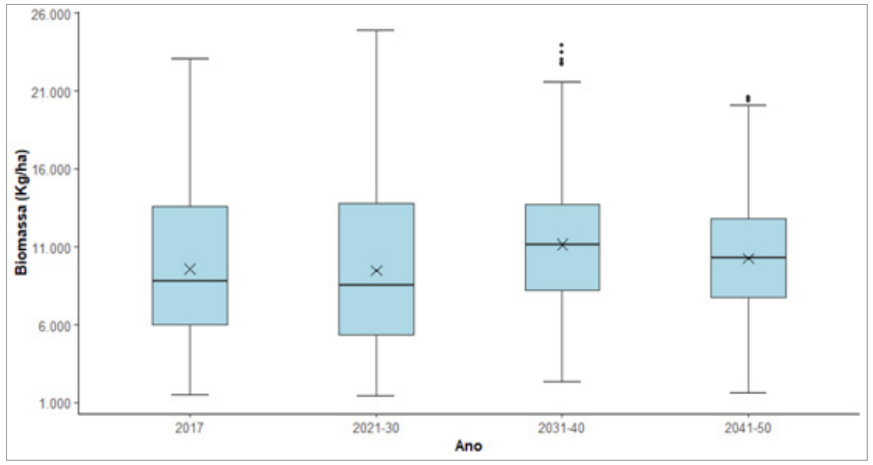
Figura 12: Produtividade agrícola atual e projetada (t ha^{-1}) das principais culturas na BESF em 2017 e com base nos cenários de mudanças do clima.



Fonte: Souza Filho, F. A. et al. (2022).

Já as pastagens, apresentaram tendência a aumento na produtividade de biomassa no período de 2031-40, com mediana indicando produtividade de 11.159,31 kg ha^{-1}, com pequena redução no período de 2041-50 na BESF. A maior variabilidade na produtividade de biomassa das pastagens é observada no período de 2021-30, porém, apresentando a menor mediana entre os períodos (8.527,83 kg ha-1) (Figura 13).

Figura 13: Biomassa das pastagens em diferentes períodos de mudanças climáticas, considerando todos os municípios da BESF.



Fonte: Souza Filho, F. A. et al. (2022).

Com as alterações na biomassa das pastagens, simuladas em diferentes cenários de mudanças do clima, estimou-se que no período 2041-50 o rebanho poderá ser de 36,7 milhões de cabeças, um aumento de 24,6% em relação a 2017 (Tabela 1). Os maiores aumentos foram observados para os bovinos de corte (+36,8%), bovinos de leite (+33,0%) e bubalinos (+33,3%), enquanto ovinos, caprinos e equinos terão os rebanhos aumentados em 6,1; 10,4 e 19,7%, respectivamente.

Tabela 1: Projeção da população animal em cenários climáticos futuros na Bacia Estendida do Rio São Francisco para os períodos de 2021-30, 2031-40 e 2041-50.

Rebanho	2017	2021-30	2031-40	2041-50
	Número de animais (em milhões de cabeças)			
Bovinos de corte	14,69	14,99	21,56	20,10
Bovinos de leite	2,15	2,38	2,97	2,86
Caprinos	5,36	4,76	6,09	5,92
Ovinos	6,51	6,00	7,07	6,91
Equinos	0,71	0,65	0,90	0,85
Bubalinos	0,03	0,03	0,05	0,04
Total	**29,45**	**28,80**	**38,64**	**36,69**

Fonte: Souza Filho, F. A. et al. (2022).

A análise do conjunto de dados do período presente (2005-2017) permitiu identificar tendências importantes na BESF. No que se refere à pecuária, os resultados mostram que houve um aumento do rendimento de várias espécies, indicando que mesmo diante das limitações de clima, solo e socioeconômicas que caracterizam a região, os produtores conseguiram melhorar os indicadores de produtividade. Exemplos evidentes desta mudança são: i) o aumento de 65,5% no rebanho de vacas de alta produtividade; ii) o aumento de 46,4% na criação de aves; e iii) o aumento de aproximadamente 38% na criação de suínos de forma industrial em detrimento da criação de subsistência. Houve ainda o aumento de 50,6% no rebanho de ovinos, enquanto os rebanhos de bovinos de corte e caprino se mantiveram estáveis no período estudado.

Na agricultura, considerando as seis culturas estudadas, os resultados evidenciam os ganhos de produtividade na BESF, visto que a área colhida com estas culturas cresceu somente 2,9%, enquanto a produção aumentou 40,5% em 12 anos. O destaque negativo vem da cultura da mandioca, a qual apresentou reduções significativas tanto na área colhida (-57,2%), quanto na produtividade (-22,5%). Em comparação com outras regiões do Brasil, esses ganhos devem ser por adoção de tecnologia o que mascara os efeitos das mudanças do clima.

Por fim, os resultados dos cenários de mudanças climáticas apontam para uma tendência de aumento na produção de biomassa das pastagens o que irá permitir o aumento da atividade pecuária. O mesmo devendo ocorrer com os cultivos agrícolas, visto que os resultados indicam incrementos na produtividade média das culturas contempladas neste estudo. Entretanto, há de se levar em consideração a perspectiva de aumento também da frequência e intensidade dos eventos extremos, os quais podem atenuar os teóricos ganhos de produtividade e produção agropecuária, e impactar negativamente as seguranças hídrica, energética e alimentar na BESF. Também como em outras regiões do Brasil, essas são causas diretas do efeito das mudanças climáticas na produtividade das culturas.

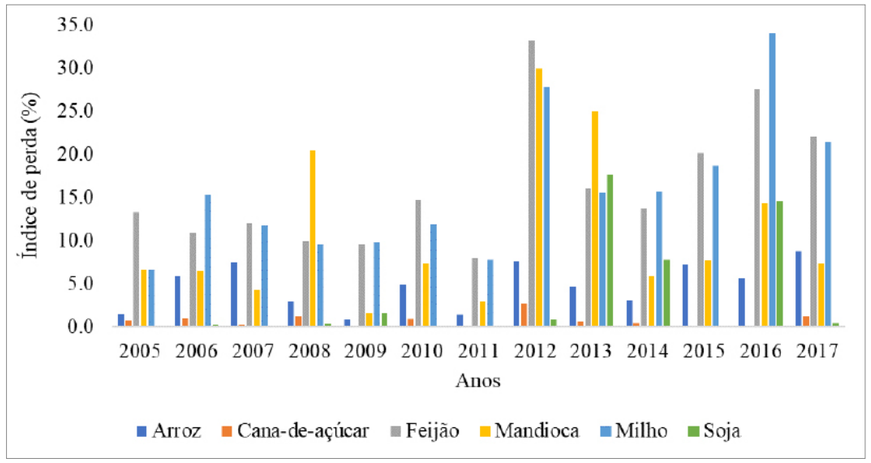
Perdas da produção agrícola e eventos climáticos extremos na BESF

Os dados do tópico anterior mostraram que entre 2005 e 2017 houve aumentos significativos na produtividade e produção da agropecuária na BESF, o que é importante para ajudar a garantir a segurança alimentar na região. No entanto, o aumento da frequência de ocorrência e intensidade dos eventos extremos devido às mudanças climáticas deverá ser um desafio para a região. De acordo com Carvalho et al. (2020), as secas e estiagens atingiram a região nordeste de forma mais

intensa nos anos 2010, 2012, 2014 e 2017, ocasionando reduções na pluviometria que variaram entre 15,0 e 70%. Neste contexto, este tópico teve como objetivo avaliar as perdas de produção agrícola do plantio à pré-colheita na Bacia Estendida do Rio São Francisco (BESF), no período 2005 a 2017, e correlacionar estes dados com eventos extremos de seca e estiagem.

Na Figura 14 são apresentados os resultados dos índices de perdas do plantio até a pré-colheita das principais culturas presentes na BESF entre 2005 e 2017. Os resultados evidenciam que os índices de perda podem alcançar níveis próximos e acima de 30%, conforme ocorreu nas culturas de feijão, mandioca e milho, o que obviamente impacta significativamente toda a cadeia produtiva. Observou-se também, que os anos de 2012, e 2015 a 2017 foram os mais críticos para quase todas as culturas. No ano de 2012 foram registradas perdas elevadas em todas as culturas (exceto na soja), enquanto o período entre 2015 e 2017 foi marcado por perdas significativas, como por exemplo, no arroz, feijão e milho. Entre as culturas avaliadas, a cana-de-açúcar foi a que se mostrou menos susceptível às perdas até a pré-colheita.

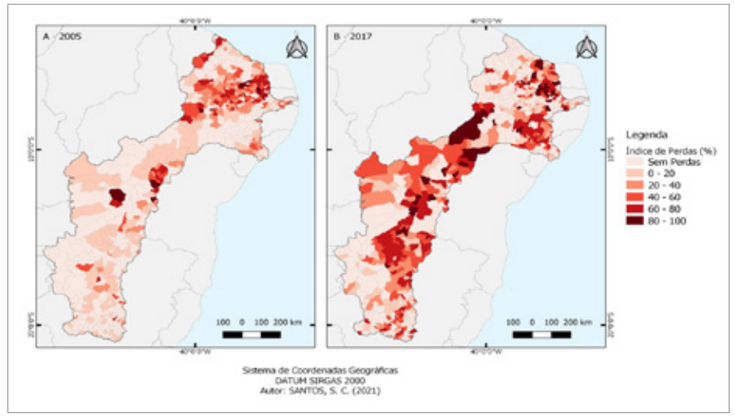
Figura 14: Índices de perdas do plantio até a pré-colheita das principais culturas presentes na BESF entre 2005 e 2017.



Fonte: Souza Filho, F. A. et al. (2022).

Já a Figura 15 mostra os resultados espacializados por município na BESF. Para a cultura do feijão. Observa-se que houve perdas de até 96% em 2017. Essas perdas apresentadas em 2017 ocorreram em quase toda a extensão da bacia, atingindo um maior número de municípios quando comparadas ao ano de 2005. Os dados para as demais culturas podem ser vistos no link https://zenodo.org/record/6794700#.YxJiC3bMLi0. Estes resultados da cultura do feijão servem para ilustrar o impacto das secas na produção agrícola, demonstrando que o aumento da frequência e intensidade de eventos extremos, neste caso das secas, podem afetar e dificultar substancialmente a segurança alimentar na BESF.

Figura 15: Índice de perdas agrícolas (%) do plantio à pré-colheita do feijão nos anos 2005 (A) e 2017 (B) nos municípios que compõem a Bacia Estendida do Rio São Francisco.



Fonte: Souza Filho, F. A. et al. (2022).

Emissões de gases de efeito estufa no setor agropecuário

Usando os dados levantados no tópico “Indicadores da agropecuária: dados atuais e em cenários futuros de mudanças do clima”, e seguindo as metodologias do IPCC (2006) e dos Relatórios Referências da Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do clima (MCTI, 2020 b, c, d, e, f), foram realizadas as estimativas de emissões de gases do efeito estufa do setor Agropecuária na BESF.

A tabela 2 sumariza os resultados gerais em CO2 eq. no período 2005 a 2017. As emissões do setor agropecuária totalizaram 36.946,26 Gg CO2eq em 2017, um acréscimo de 2,89%, se comparado com 2005. É possível identificar que o subsetor Fermentação Entérica foi o mais representativo (58,77%), contribuindo com uma emissão estimada em 21.714,63 Gg CO2eq em 2017, seguido pelos subsetores Solos Manejados e Manejo de Dejetos que apresentaram emissões de 11.231,30 e 1.959,21 Gg CO2eq, respectivamente, semelhantemente o que ocorre em todo o território nacional. Os outros subsetores contribuíram com o restante das emissões em 2017, totalizando 2.041,12 Gg CO2eq (Tabela 2).

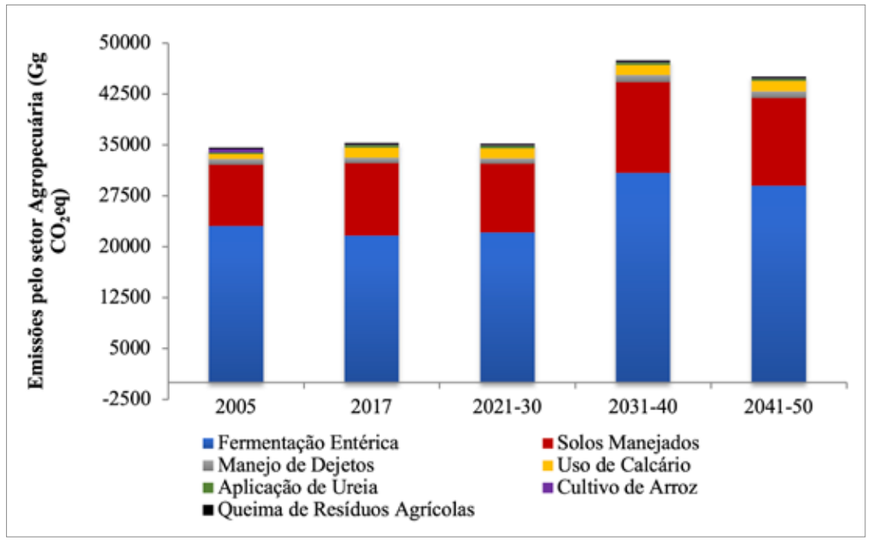
Tabela 2: Emissões do setor Agropecuária na Bacia Estendida do Rio São Francisco, em CO_2 eq, por subsetor de 2005 e 2017.

Setor/Subsetor	2005	2017	Variação (2005 - 2017)	Contribuição em 2017
	(Gg CO_2 eq.)			
Agropecuária	35.907,40	36.946,26	2,89	100,00
Fermentação Entérica	23.126,46	21.714,63	-6,10	58,77
Solos Manejados	9.458,10	11.231,30	18,75	30,40
Manejo de Dejetos	1.750,07	1.959,21	11,95	5,30
Uso de Calcário	720,62	1.531,48	112,52	4,15
Aplicação de Ureia	240,28	390,29	62,43	1,06
Cultivo de Arroz	529,41	78,54	-85,16	0,21
Queima de Resíduos Agrícolas	82,46	40,81	-50,51	0,11

Fonte: Souza Filho, F. A. et al. (2022).

Na Figura 16 é possível observar que as mudanças climáticas deverão afetar as emissões de GEE na atividade agropecuária na BESF em cenários futuros, com tendência de aumento nas emissões a partir do período de 2021-30 (35.029,09 Gg CO_2eq), alcançando o pico das emissões na década de 2031-40 (47.301,24 Gg CO_2eq), com pequena redução em 2041-50, com a estimativa de emissão de 44.906,98 Gg CO_2eq. Quando comparado ao ano de 2017, nota-se que haverá um aumento nas emissões de 27,85%, admitindo de forma bastante conservadora que não haverá aumento da demanda de fertilizantes sintéticos e corretivos agrícolas, resultado esse que poderia ser ainda maior com o uso desses insumos essenciais para uma melhor produtividade das culturas agrícolas e pastagens para os rebanhos animais.

Figura 16: Emissões do setor Agropecuária na BESF, em CO_2eq,[2] no período de base (2005 e 2017) e cenários futuros (2021-30, 2031-40 e 2041-50).



Fonte: Souza Filho, F. A. et al. (2022).

Constatou-se que no período de 2005 a 2017 as emissões de GEE no setor agropecuária da BESF se mantiveram basicamente estáveis, visto que houve um aumento de somente 2,89%. Esta estabilidade retrata na prática uma redução das atividades pecuárias, com diminuição de algumas classes de bovino de corte, mas principalmente a redução de vacas de leite de baixa produção; e o aumento das atividades agrícolas, seja por meio do aumento da área colhida, em especial, de cana-de-açúcar e soja, mas sobretudo devido ao aumento do consumo de calcário e fertilizantes nitrogenados.

Diante das mudanças do clima, os resultados apontam para um aumento substancial nas emissões de GEE. Este aumento nas emissões deriva do aumento das atividades agropecuárias na região. Conforme pode ser visto no capítulo 35 do livro que se encontra no link https://zenodo.org/record/6794700#.YxJiC3bMLi0, os cenários futuros indicam que haverá ganhos de produtividade na maioria das culturas agrícolas (tratadas neste estudo), bem como, aumento na produtividade das pastagens, o que resultou no aumento dos rebanhos. Cabe ressaltar, que se adotou um cenário conservador para as emissões futuras provenientes de calagem e adubação nitrogenada.

[2] CO_2eq é uma medida métrica utilizada para comparar as emissões de vários gases de efeito estufa baseada no potencial de aquecimento global de cada um em relação ao CO_2.

Mudanças nos estoques de carbono do solo

Também dentro do componente relacionado à emissão de GEE, foi realizada no PI SHAE a avaliação das mudanças nos estoques de carbono orgânico do solo (COS) devido às mudanças no uso da terra na BESF no período de 1985 a 2017. As estimativas foram feitas de acordo com a metodologia do IPCC (2006) e desagregadas por sub-bacias e biomas da BESF.

Além dos resultados específicos para as mudanças nos estoques de COS, o estudo gerou resultantes interessantes sobre o uso do solo da região, conforme pode ser observado na Tabela 3.

De maneira geral, observa-se que em 1985 a área com vegetação nativa ocupava 65,5% da área total da BESF, sendo a principal classe de uso da terra. A área utilizada para agricultura representava 20,7% e o uso do solo com pastagens ocupava cerca de 11,7% da área total da BESF. O uso de pastagens em boas condições ocupava uma área de 4,1 milhões de hectares e cerca de 0,15 milhões de hectares ocupados por pastagens em más condições. Vale ressaltar que a área ocupada com pastagens naturais na BESF em 1985 equivalia a 5,4 milhões de hectares. A agricultura, era a segunda principal classe de uso da terra da BESF com aproximadamente 17,4 milhões de hectares, destacando-se a agricultura com cultivo convencional, ocupando cerca de 14,8 milhões de hectares da área total da BESF (Tabela 3).

Entre 1985 e 2017 houve uma redução de 6,6% da vegetação nativa na BESF, o que corresponde a 5,7 milhões de hectares (Tabela 3). Atividades antrópicas e corpos hídricos ocuparam 41,1% da área total, destacando-se como principal classe de ocupação da terra por atividade antrópica a agricultura, a qual ocupava cerca de 18,6 milhões de hectares, equivalente a 22,2% da área total. Vale destacar o aumento substancial das áreas de agricultura com sistema de plantio direto, culturas perenes e a conversão das áreas de cana-de-açúcar com colheita manual (com queima) para colheita mecanizada (sem queima).

Tabela 3: Área (mil ha) das categorias de uso da terra da BESF nos anos de 1985 e 2017.

Uso da terra	1985	2017
	Área (10^3 ha)	
Vegetação nativa	55.246,64	49.539,35
Pastagens naturais	5.494,44	7.864,09
Pastagens em boas condições	4.126,69	5.018,45
Pastagens em más condições	151,78	1.901,10
Agricultura (PD)	376,89	3.106,15
Agricultura (CC)	14.865,54	12.633,78
Cultura perene	546,63	14.22,76
Cana-de-açúcar (CQ)	1.655,50	886,07
Cana-de-açúcar (SQ)	0,00	618,02
Solo exposto	439,57	314,02
Área edificada	170,72	194,76
Corpo hídrico	1.094,88	671,25

PD: plantio direto; CC: cultivo convencional.
CQ: com queima; SQ: Sem queima.

Fonte: Souza Filho, F. A. et al. (2022).

Os resultados das mudanças nos estoques de carbono orgânico do solo na BESF durante o período de 1985 a 2017 em relação aos diferentes biomas que a constituem são apresentados na Tabela 4. A BESF tem como bioma predominante a Caatinga, o qual apresentou perdas no estoque de carbono no solo entre os anos de 1985 e 2017 estimada em 0,04 Mt C ano^{-1} e taxa média de perda equivalente a 0,01 t C ha^{-1} ano^{-1} (Tabela 4). Já no Cerrado, as mudanças de uso e cobertura da terra e sistemas de manejo provocaram os maiores ganhos de carbono do solo entre os biomas que compreendem a BESF, sendo estimado um ganho equivalente a 0,57 Mt C ano^{-1}, com mudanças médias de 0,27 t C ha^{-1} ano^{-1} (Tabela 5). Por sua vez, o bioma Mata Atlântica, que tem menor representatividade territorial na BESF, também apresentou ganho de C do solo entre 1985 e 2017. Estima-se que ao longo dos 32 anos analisados esse bioma obteve ganhos de 0,19 Mt C ano^{-1} com as maiores taxas médias anuais entre os biomas, o equivalente a 0,42 t C ha^{-1} ano^{-1} (Tabela 4).

Tabela 4: Estimativas das mudanças nos estoques de Carbono e de área por biomas que compreendem a Bacia Estendida do Rio São Francisco, durante o período de 1985 a 2017.

Biomas	Área (10^3 ha)	Mudança de estoque de C (Mt C)	Mudança de estoque de C por ano (Mt C ano^{-1})	Mudança de estoque de C por hectare ano (t C ha^{-1} ano^{-1})
Cerrado	2125,08	18,29	0,57	0,27
Caatinga	3654,20	-1,38	-0,04	-0,01
Mata Atlântica	453,64	6,03	0,19	0,42
BESF	6232,93	22,94	0,72	0,12

Fonte: Souza Filho, F. A. et al. (2022).

É fundamental destacar que os resultados apresentados tratam exclusivamente do Carbono orgânico do solo (COS), os quais são obviamente positivos, visto que se constatou o acúmulo de COS no período estudado. Porém, é preciso considerar as emissões de GEE devido ao desmatamento das vegetações nativas, assim como, das diversas fontes do setor agropecuária que foram apresentadas anteriormente. Quanto à s emissões provenientes do desmatamento das áreas de vegetação nativa, de acordo com dados do Quarto Inventário Nacional de Gases do Efeito Estufa (MCTI, 2020a), um hectare de vegetação nativa contém estoques de carbono (aéreo e subterrâneo) que variam entre 92,7 e 174,1 t ha-1 na Mata Atlântica, 33,4 e 36,5 t ha-1 no Cerrado, e 15,4 e 36,5 t ha-1 na Caatinga. Logo, os ganhos via carbono do solo, confirmam a efetividade da adoção de práticas e sistemas conservacionistas de manejo dos solos, mas não podem ser entendidos como um incentivo ao avanço do desmatamento.

Potencial de energia eólica e solar

O aumento das emissões de gases de efeito estufa (GEE) nas últimas décadas tem sido dominado pelas economias emergentes.

De acordo com uma revisão do quarto Inventário Nacional de Emissões de GEE, o uso da terra, mudança de uso e silvicultura (LULUCF) foi a maior fonte de emissões de GEE no país.

O setor de energia aumentou sua participação no total de emissões, tornando-se o segundo maior emissor em 2016, com 32% do total. O setor de energia hidroelétrica e termoelétrica pode, já ou em um futuro muito próximo, ser a principal origem das emissões no Brasil.

O Brasil está em uma posição favorável no contexto global quando se trata do uso de energias renováveis. A energia eólica é a segunda maior fonte de geração de energia no Brasil com 8,9% da matriz energética e a energia solar representa hoje 2,4% da matriz.

No entanto, o desenvolvimento socioeconômico do país resultará em maior uso de energia, não necessariamente de fontes renováveis. Apesar da atual alta participação de renováveis no mercado brasileiro, o país enfrenta uma situação em que, por um lado, precisa aumentar sua produção para promover o desenvolvimento socioeconômico, a criação de empregos e a redução da pobreza. Por outro lado, o país enfrenta o quase esgotamento de sua energia hidrelétrica ambientalmente viável (a maior parte do potencial inexplorado do país está situada na região amazônica) e, portanto, enfrenta severas restrições ambientais locais. É esperado que aumente o uso de energia

Para avaliar o peso do potencial de produção de energia eólica e solar na Bacia do Rio São Francisco, foram desenvolvidas as seguintes ações:

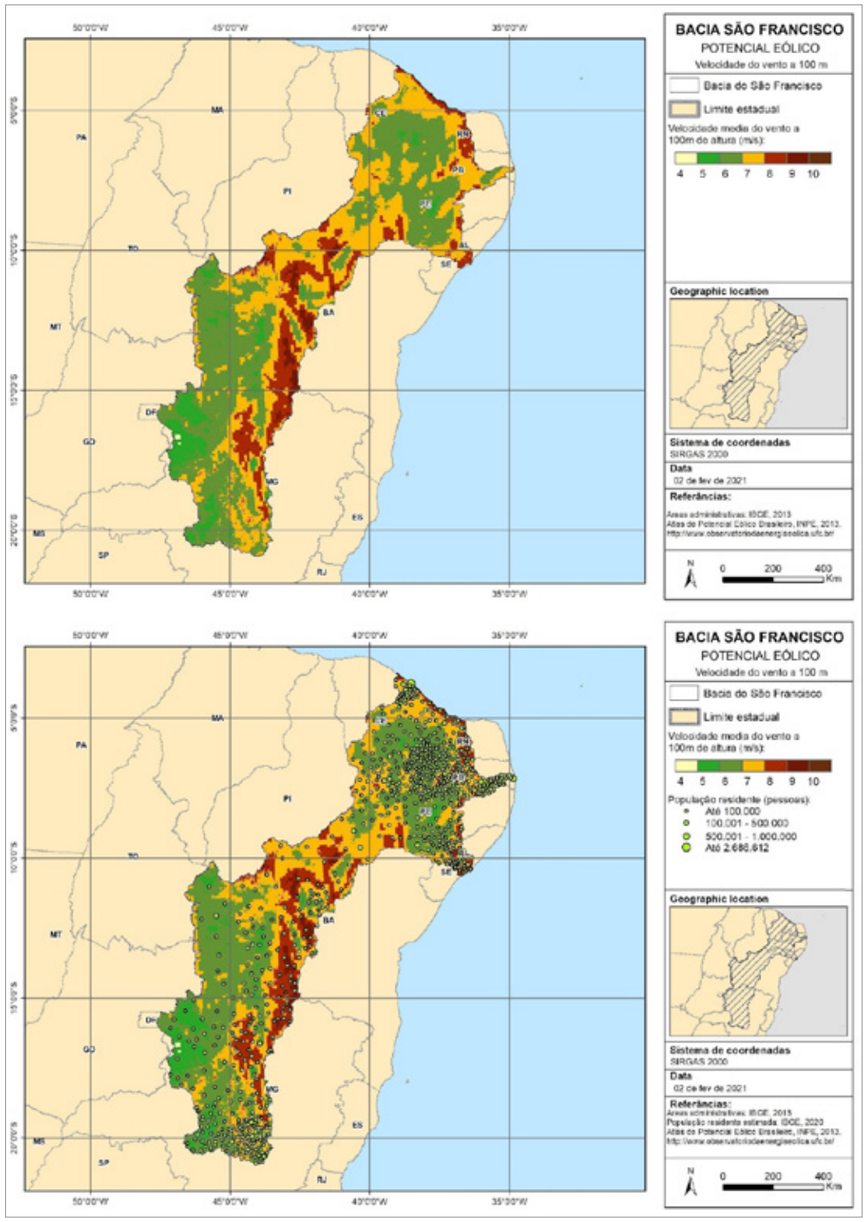
Estudo da Variabilidade Climática e sua importância no planejamento da expansão da energia solar e eólica na BESF. Esse estudo começou com uma revisão sobre as projeções de crescimento das fontes de energia solar e eólica no da matriz elétrica brasileira. Dados recentes sobre a disponibilidade e custo de energia alternativas foram obtidos no setor elétrico. Nesta fase, iniciou-se desenvolvimento do modelo de previsão para a expansão do parque eólico baseado na adaptação do ambiente de modelagem LuccME e o modelo de uso e cobertura da terra.

Os estudos confirmam que a discussão sobre os cenários futuros para o setor de energia permeia as esferas econômica, política, social e ambiental da sociedade, tratando de uma questão essencialmente interdisciplinar. Especificamente considerando a expansão da energia solar e eólica, até agora, tudo indica que a disponibilidade de recursos e o custo de geração não são restrições para seu crescimento no Brasil. Incertezas tecnológicas sobre as limitações para a inserção de energias não despacháveis no sistema elétrico ainda permanecem, embora evidências indiquem que tais restrições são muito superiores à meta assumida no planejamento atual.

Avaliação de recursos de energia solar

Com o aumento e diversificação das usinas de geração de energia a partir da fonte solar, a demanda para dados de radiação de superfície com melhor resolução temporal vem aumentando. Normalmente, quanto à energia solar, o mapeamento de recursos é feito em escala de tempo climatológica, (décadas) onde o valor médio da distribuição estatística desse recurso é a variável mais relevante. Foi avaliado o potencial de geração de energia solar na BESF concentrada que, devido à inércia térmica, sofre o grande impacto da variabilidade da cobertura de nuvens no desempenho da planta e no projeto do armazenamento térmico. O produto obtido no final do projeto foram os mapas que ilustram o potencial de produção de energia eólica e solar na BESF.

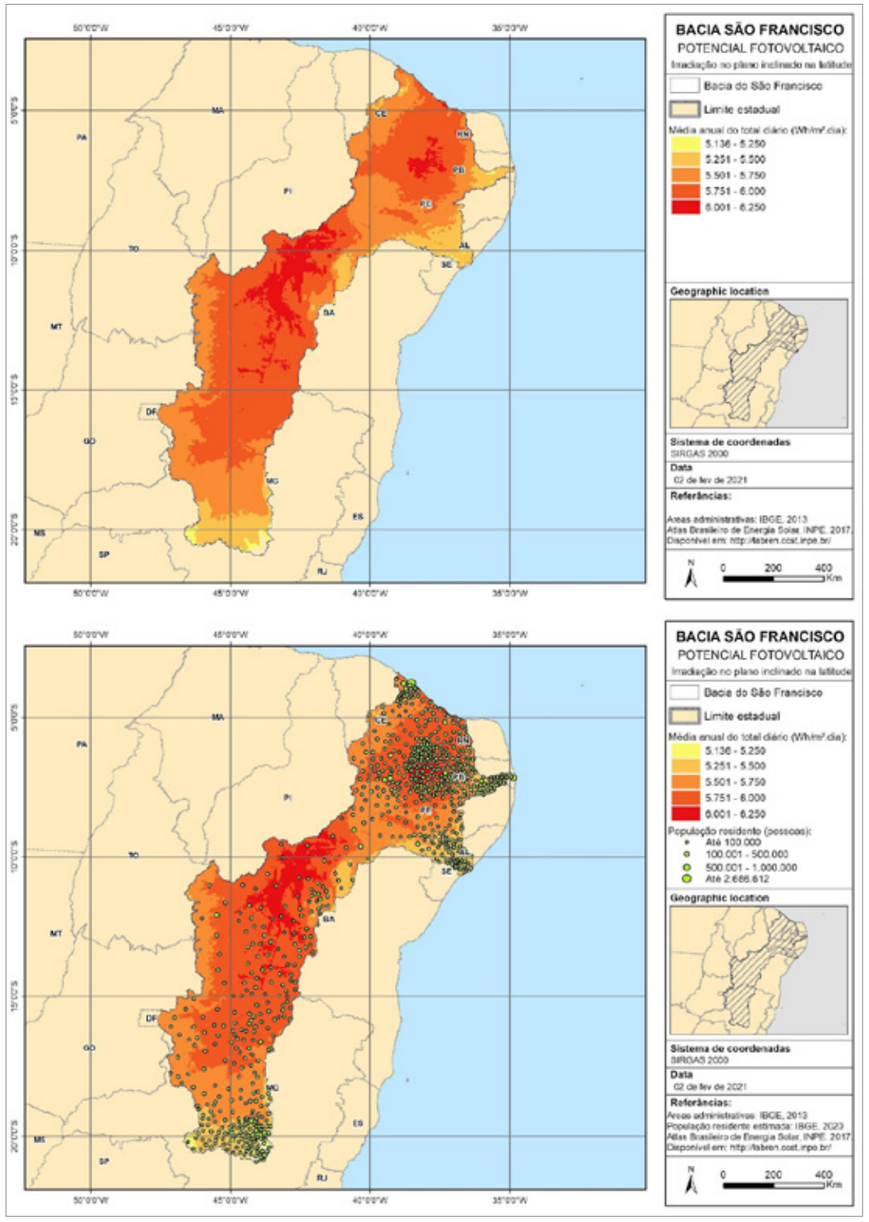
Figura 17: Mapas indicando o potencial de geração de energia eólica na Bacia Estendida do Rio São Francisco. Importante observar que o maior potencial está concentrado onde tem mais população.



Fonte: Souza Filho, F. A. et al. (2022).

Figura 18: Mapas indicando o potencial fotovoltaico na Bacia Estendida do Rio São Francisco.

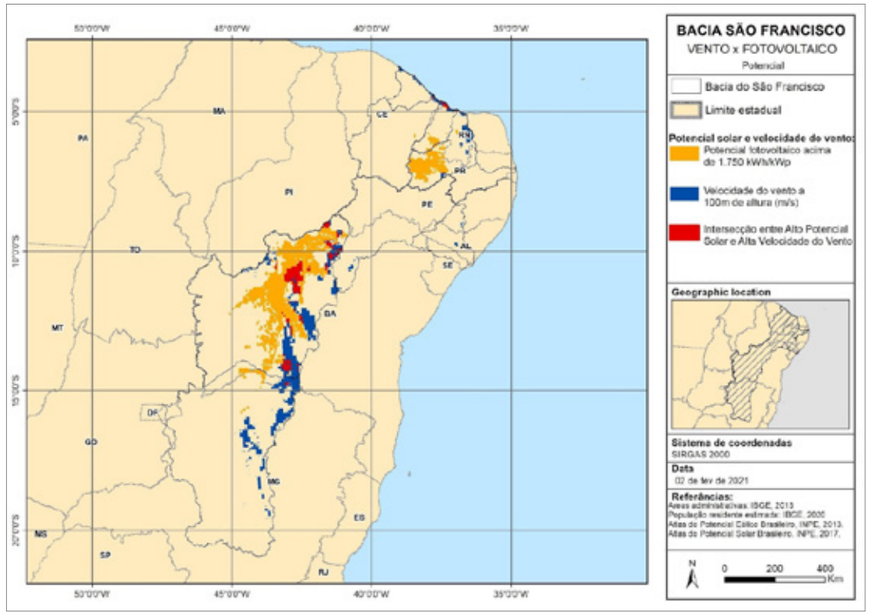
A geração de energia fotovoltaica é muito grande e atinge toda a Bacia. As restrições com relação à cobertura de nuvens são menores do que em outras regiões do Brasil.



Fonte: Souza Filho, F. A. et al. (2022).

Figura 19: Mapa mostrando a combinação do potencial de geração combinado de energia eólica e fotovoltaica na BESF.

É importante salientar que, caso haja demanda de energia para irrigação, ao utilizar a geração de fontes alternativas, a BESF não terá limitações.



Fonte: Souza Filho, F. A. et al. (2022).



Foto: Ministério da Integração - Divulgação

Impactos com base nos objetivos gerais da Rede Clima

Objetivo	Impacto
Gerar e disseminar conhecimentos e tecnologias para que o Brasil possa responder aos desafios representados pelas causas e efeitos das mudanças climáticas globais.	Sendo o foco do estudo a Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, foram gerados conhecimentos e tecnologias que permitiram entender melhor os impactos das mudanças climáticas nessa importante região. Esses conhecimentos foram disseminados junto a pelo menos cinco instituições de ensino.
Produzir dados e informações necessárias ao apoio da diplomacia brasileira nas negociações sobre o regime internacional de mudanças do clima.	Todos os resultados obtidos, assim como os dados e microdados utilizados, estão à disposição da diplomacia brasileira, e podem ser consultados nas publicações e no livro da Universidade Federal do Ceará. https://zenodo.org/record/6794700#.YxJiC3bMLi0
Realizar estudos sobre os impactos das mudanças climáticas globais e regionais no Brasil, com ênfase nas vulnerabilidades do país às mudanças climáticas.	Estes estudos foram realizados principalmente no que se refere à oferta de água e vazão do Rio São Francisco e da produtividade presente e futura dos principais alimentos que são produzidos na BESF.
Estudar alternativas da adaptação dos sistemas sociais, econômicos e naturais do Brasil às mudanças climáticas.	Os estudos de adaptação foram feitos principalmente no que diz respeito às emissões de GEE e quais seriam as práticas mais adaptadas à região que poderiam minimizar os efeitos das mudanças climáticas. A adaptação dos sistemas sociais e econômicos foi feita no âmbito de outros projetos integrativos executados pela Rede Clima.
Pesquisar os efeitos das mudanças no uso da terra e nos sistemas sociais, econômicos e naturais nas emissões brasileiras de gases que contribuem para as mudanças climáticas globais.	A evolução das mudanças de uso do solo foi avaliada e foi verificado quais seriam as tendências de ocupação ao longo dos últimos dez anos. Foi detectado que a maior tendência seria de alteração para pastagens.
Contribuir para a formulação e o acompanhamento de políticas públicas sobre mudanças climáticas globais no âmbito do território brasileiro.	Como dito, os resultados estão à disposição do governo federal e podem subsidiar as políticas públicas, principalmente no que se refere às políticas de mitigação e adaptação aos efeitos das mudanças climáticas e opções de geração de energia na BESF.



Foto: Reservatório de Itaparica, rio São Francisco/ISS/NASA

Caminhos para o AGORA

Análise

Com relação às questões mais centrais sobre os resultados do projeto pode-se, finalmente, perguntar se a substantiva produção de novos conhecimentos e formação de centenas de pesquisadores sobre mudanças climáticas espalhados por todo o território nacional em inúmeras instituições alavancadas pela Rede Clima já estão contribuindo ou irão contribuir para o desenvolvimento sustentável do Brasil. Igualmente pode-se analisar criticamente se a escolha inicial do PI de privilegiar pesquisas sobre impactos, adaptação e vulnerabilidade justificou os resultados obtidos.

Os trabalhos já estão contribuindo; e vários desses jovens cientistas estão sendo absorvidos seja por instituições públicas, seja em instituições privadas, para realizar estudos e projetos em mudanças climáticas e sustentabilidade.

Essas duas questões permeiam a discussão sobre a busca de caminhos efetivos para que o conhecimento científico possa subsidiar a elaboração e implementação de políticas públicas. Nessa lógica, o conhecimento científico deveria, em princípio, atravessar com mais facilidade a ponte que separa a produção do conhecimento em universidades e institutos de pesquisa da esfera de tomada de decisão política. Qual/quais desafios foram identificados?

O principal desafio foi e ainda será de ordem política. No atual governo, restou evidente - com base nas reduções sucessivas de orçamento e declarações de altas autoridades, - imperar o negacionismo científico em diversas esferas, principalmente quanto às mudanças climáticas. Não encontramos eco no ministério do meio ambiente nem no ministério das relações exteriores. Tal fato dificulta a disseminação das informações e o apoio à formulação de políticas públicas.

Tanto para o alcance das metas do Acordo de Paris, quanto para atingir plenamente os objetivos de desenvolvimento sustentável, são demandadas inúmeras ações e políticas de adaptação. Mais ainda, demanda-se preparação antecipada para aumentar a resiliência da sociedade, do sistema econômico, juntamente com proteção ambiental, para o caso de rupturas imprevistas em elementos do sistema terrestre. Especificamente, com respeito aos resultados alcançados no PI, o conhecimento gerado está influenciando os tomadores de decisão para políticas públicas de sustentabilidade?

Com toda a certeza, desde que os tomadores de decisão tenham interesse no assunto.

Considerações

Os mapas extraídos do MapBiomas permitiram avaliar as mudanças de cobertura do solo, bem como subsidiaram análises diversas, desenvolvidas em outros componentes do PISHAE.

As variáveis número de lotes, idade dos irrigantes e nível educacional foram as mais importantes na avaliação da percepção dos produtores sobre a duração e frequência das secas.

Os modelos de mudança climática do CMIP6 projetam, para a BESF, aumento consistente de temperatura e evapotranspiração potencial ao longo do século XXI.

Quanto ao regime de precipitações, os modelos mostraram discordância em relação ao sentido da tendência projetada, porém, pelo menos quatro modelos apontam para variações significativas na precipitação média (entre -48% e +119%).

Em relação ao regime de vazões, os resultados mostraram que as tendências projetadas para a precipitação e a ETP são combinadas e resultam em tendência de variação mais intensas no regime de vazões, com os modelos mais extremos apontando variações que chegam a -97% e a 627%. Variações significativas são observadas já no cenário SSP2-4.5, ocorrendo uma intensificação das tendências no cenário SSP5-8.5.

A atividade agropecuária na BESF cresceu substancialmente. Houve, por exemplo, o aumento de 65,5% do rebanho de vacas de alta produtividade, e 50,6% do rebanho de ovinos. Na agricultura, houve ganhos sensíveis de produtividade, e a produção aumentou 40,5% em 12 anos (2005-2017). No entanto, a área colhida (com as seis culturas avaliadas) cresceu somente 2,9%.

A partir das estimativas feitas baseadas nos cenários de mudanças climáticas, observou-se uma tendência de aumento na produção de biomassa das pastagens - o que permitirá o aumento da atividade pecuária. O mesmo devendo ocorrer com os cultivos agrícolas, visto que os resultados indicam incrementos na produtividade média das culturas contempladas neste estudo.

Por outro lado, constatou-se o aumento da ocorrência de secas na região, com destaque para os anos de 2012, e 2015 a 2017. A ocorrência destes eventos extremos levou a perdas na produção agrícola e acima de 30%, conforme ocorreu nas culturas de feijão, mandioca e milho; mas que em determinadas regiões (e municípios) as perdas superaram 95%.

Entre 2005 e 2017 as emissões de GEE no setor agropecuária da BESF se mantiveram basicamente estáveis (aumento de 2,89%). Tal estabilidade retratada se deve a aspectos como, diminuição do bovino de corte, redução do rebanho de vacas de leite de baixa produção; e pouco aumento da área sob agricultura.

No entanto, houve aumentos muito substanciais nas emissões provenientes do uso de fertilizantes nitrogenados e calcário, demonstrando que alternativas devem ser adotadas com o intuito de reduzir o consumo destes produtos.

Como consequência do aumento dos níveis de produtividade observados nos cenários de mudanças do clima, haverá também o aumento relativo das emissões de GEE.

Entre 1985 e 2017, houve uma redução de 6,6% da vegetação nativa na BESF, o que corresponde ao desmatamento de 5,7 milhões de hectares. No que se refere ao uso antrópico cabe ressaltar o enorme aumento da área com pasto degradado, mas também a adoção de práticas conservacionistas de uso do solo, como o plantio direto e o cultivo de cana-de-açúcar com colheita mecanizada.

Com as mudanças nos sistemas de uso da terra, houve um acúmulo de carbono no solo de 22,9 Mt (entre 1985 e 2017) na BESF. Sendo que tal acúmulo se verificou nos biomas Cerrado (18,29 Mt) e Mata Atlântica (6,03), enquanto na porção da Caatinga dentro da BESF, houve a perda de 1,38 Mt de carbono.

No entanto, apesar dos ganhos via carbono do solo, confirmarem a efetividade da adoção de práticas e sistemas conservacionistas de manejo dos solos, isto não pode ser entendido como um incentivo ao avanço do desmatamento, visto que existem as emissões associadas ao processo de desmatamento e queima da vegetação, bem como as emissões de GEE que serão geradas com as atividades agropecuárias.

Com relação ao potencial de energia eólica e solar foram mapeadas as regiões onde seriam encontradas o máximo de geração de energia eólica com velocidade do vento acima de 100 metros em m/s e a geração de energia fotovoltaica acima de 1750 KWh/KWp . O resultado final é a intersecção dos dois tipos de energia, indicando as áreas de maior potencial na BESF.

Contribuições sobre políticas públicas

Em 2019, com o apoio do International Policy Center for Inclusive Growth (IPC/UNDP), do Environmental Defense Fund (EDF) e do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea/Ministério da Economia), a sub-rede Políticas Públicas da Rede Clima realizou o "Seminário Internacional Oportunidades de Negócios para uma Economia Rural Sustentável: A Contribuição das Florestas e da Agricultura". Na ocasião, as perguntas-chave foram:

1) Quais são as novas oportunidades de negócios para uma economia rural sustentável?

a) Como deveria ser a economia rural do futuro?
- i) Rumo ao uso eficiente da terra no Brasil
- ii) Visão 2030-2050: O futuro das florestas e da agricultura no Brasil
- iii) Amazônia 4.0

b) Como o Brasil pode se beneficiar dos mercados de clima emergentes? O papel dos ativos florestais e de carbono.
- i) Mercados internacionais para reduções de emissões de carbono: oportunidades e desafios
- ii) Considerações sobre estoques de carbono e biomassa: mitigação com biocombustíveis, reflorestamento e carbono do solo vis-à-vis a redução de emissões de combustíveis fósseis
- iii) CONSERV: Conservação em áreas privadas
- iv) Capacidades dos sistemas de monitoramento do Inpe para políticas públicas relacionadas a floresta e agricultura

c) Como o Brasil e as empresas podem construir cadeias produtivas sustentáveis de larga escala e mutuamente benéficas?
- i) O programa PCI no Mato Grosso (Produzir, Conservar e Incluir)
- ii) Sustentabilidade na Cadeia da Soja Brasileira
- iii) A Cadeia Produtiva da Carne
- iv) Indicadores de Sustentabilidade
- v) Desafios Econômicos e Ambientais das Cadeias Produtivas da Carne e da Soja

d) Como o Brasil pode ampliar as oportunidades existentes de investimentos multilaterais?
- i) O Fundo Amazônia
- ii) KfW – REM (REDD Early Movers)
- iii) Programa de Investimento Florestal (FIP)

2) Como o Brasil pode aproveitar as novas oportunidades de negócios utilizando políticas públicas já existentes?

a) Que oportunidades o Código Florestal oferece?
- i) O Código Florestal de 2012: marcos institucional e jurídico
- ii) Decifrando o Código Florestal Brasileiro
- iii) O Mercado de Cotas de Reservas Ambientais (CRAs)

3) Quais são as oportunidades oriundas das Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs)?

a) Acordo de Paris e as NDCs: Percepções do modelo GLOBIOM-Brasil

b) Custo de restauração florestal no Brasil e o cumprimento do Código Florestal

c) Restauração de Pastagens Degradadas e Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária- Floresta (iLPF)

d) O Programa RenovaBio

4) Quais são os mecanismos de financiamento existentes no Brasil?

a) Crédito e seguro rural

b) Programa ABC+ - Agricultura de Baixo Carbono

c) Desafios do Setor Bancário

d) Crédito Rural no Brasil

5) Quais os Direitos e Garantias no bojo do Código Florestal e da Constituição da República?

6) Quais são os impactos biofísicos da proteção florestal na agricultura?

a) Quantificando localmente os Benefícios Providos pela Vegetação Nativa ao Setor Agrícola no Brasil

b) Valoração Espacialmente Explícita dos Serviços Ecossistêmicos da Floresta Amazônica Brasileira

c) Adaptação à Mudança do Clima na Agricultura

d) A magia da Amazônia: um rio que flui invisivelmente ao nosso redor

O que se viu, dessa agenda multifacetada, foi uma intensidade de temas convergentes para um único tópico: a harmonização entre a atividade florestal e o uso do solo para a atividade agropecuária. Pelo viés da política pública, estão estabelecidos os limites para o desempenho eficiente e menos impactante para a natureza; e concedidos os estímulos para a produção sustentável e, simultaneamente, da preservação e conservação dos ecossistemas.

A dificuldade em compatibilizar ambas as atividades está no nível do detalhe, quando aproximando-as vê-se a necessidade de busca do "bem" maior, no sentido de atender à demanda por alimento, por trabalho, por equilíbrio ecológico. Constata-se que soluções ao desafio são factíveis quando a economia gira em torno dessas condicionantes como valores para a manutenção das florestas e, no excedente, em paralelo, dos solos agricultados.

Um dos pontos polêmicos neste tema é a ideia amplamente difundida de que florestas podem contribuir para solucionar o problema das emissões de gases de efeito estufa, neutralizando emissões provenientes da queima de combustíveis fósseis. Essa visão, no entanto, ignora que haja pressa para a redução da queima de combustível fóssil, inclusive para se evitar que os estoques de carbono florestal sejam emitidos por consequência direta das mudanças do clima. Em outras palavras, é até mais urgente que se contenham as emissões provenientes da queima dos combustíveis fósseis do que aquelas provenientes do desmatamento, dado que as primeiras podem ser a causa de incêndios florestais, emissões do solo etc. Isso não reduz a emergência em se conter os processos de desmatamento bem descritos no livreto da sub-rede de serviços ecossistêmicos, mas evidencia que não há troca possível entre emissões da queima de combustíveis fósseis - que enriquecem o sistema oceano-biosfera-atmosfera de maneira virtualmente irreversível - e ações de conservação de florestas. Essas últimas são urgentes, mas não devem gerar permissões de emissões de outras fontes, até para garantir sua própria integridade (IPC-IG, IPEA, EDF, 2019).

Ao observar que o projeto integrativo da pesquisa realizada na Bacia do Rio São Francisco assimila como verdade os efeitos da mudança do clima sobre as atividades na floresta e no solo, a sub-rede Políticas Públicas extrai que o respeito à legislação ambiental pode auxiliar gerando espaços favoráveis para a adoção das medidas de adaptação.

Vale mencionar o exemplo da busca pela neutralidade da terra degradada (ORR et. al., 2017), no conceito atribuído pela Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação e Erradicação da Pobreza (UNCCD), que é uma criação juridicizada nesse tratado-quadro a qual, reconhecida pelo direito, leva a apoio às ações concretas. A esse respeito, o Ipea, na área da sub-rede Políticas Públicas, contou com a participação no Committee on Science and Technology - CST/UNCCD membro do Conselho Técnico e Científico, por meio de uma das pesquisadoras da Rede Clima, via Ipea, na qualidade de Correspondente Científica do Brasil na Convenção, no período da gestão de 2017 e 2018.

O estudo realizado no PISHAE contém achados importantes no que diz respeito à percepção dos agricultores quanto a fenômenos como a seca. Considerando a intensificação dessa, entre os motivos, decorrente do aumento da temperatura e consequente porcentagem de aridez no bioma semiárido, torna-se mais palpável o entendimento da relação entre os efeitos da mudança do clima e o impacto limitante da atividade no território, como o arrefecimento da produtividade de espécies apenas agricultáveis até determinado patamar de qualidade ambiental. Em especial, quando essas espécies são menos resilientes às mudanças.

A adaptabilidade, ante o trinômio "água-energia-alimento", é tratada nesta publicação por meio da metodologia Nexus. Vale enaltecer um apanhado de resultados. Com as estimativas apresentadas em modelos matemáticos, mesmo com incertezas quanto à alteração do regime de vazões, uma conclusão é certa: o recurso hídrico estará eivado de restrição, seja no cenário de aumento da oferta para irrigação, seja pela diminuição da oferta e aumento da competição entre os usos da água na região. No tocante aos dados associados à pecuária e à agricultura, são apontados períodos de aumento na produtividade na maioria das culturas - o que soa uma vantagem, mas, claro, temporária. No restante, em que o impacto seja de necessária adaptação, uma luz é aventada pelos autores. E, para as pastagens, identificou-se, também, aumento da produtividade. Coube, ao final, a consideração de os eventos extremos e os naturais levarem a outros resultados prejudiciais da produtividade das duas modalidades de atividade econômica; e, por vezes, até positivo, quando a evapotranspiração acaba por aumentar. Ao mesmo tempo, outros fatores representam relatividade nos resultados, por força de insumos, além das técnicas de melhor eficiência. Mais um fator de relatividade é a mudança do uso do solo e reflexos sobre estoques de carbono orgânico no solo, isso versus desmatamento considerando, na mesma linha de correlações, a perda de cobertura vegetal pari passu efeitos adversos físicos decorrentes da mudança do clima. Na outra mão, há o aumento do uso das fontes renováveis. Então, os números efetivamente variam.

Como dito, e vale nesse contexto, a política pública, quando lei no sentido estrito, torna-se um limitante ou um estimulante. No caso das alterações levantadas pelos estudiosos climáticos, pode servir de condutor de subsídios e outras formas de apoio para catalisar os processos nos quais, econômica e socialmente, o Brasil possa "ganhar" e, sob estratégia de contenção, reservar recursos para os momentos de maior rarefação de bens ambientais e para os investimentos de ordem restauradora, regeneradora, recuperadora e melhoria das capacidades de resiliência pela via da adaptabilidade. Sabendo de alertas intrínsecos à missão da sub-rede Políticas Públicas, um dos sinais importantes refere-se ao discurso ponderado entre as circunstâncias de se usufruir dos efeitos da mudança do clima "positivos" porque também há os "negativos" que no macro do ambiente global se misturam para piorar as condições de produtividade no balanço.

Prospectivamente, em termos de busca de se minimizar os riscos e os danos consequentes, convém sopesar que nem tanto o Céu, nem tanto a Terra. Diga-se, as emissões dos setores analisados são causa e se perpetuarão proporcionalmente à velocidade com que as novas tecnologias e respectivas metodologias sejam dotadas de redução de emissões líquidas de gases de efeito estufa. Para menos, com a adoção de novas metodologias menos emissoras. Para mais, perante a onda de produtividade. O peso da agropecuária, em face do metano, continuará, de todo modo, sendo um dos motivos preponderantes no Brasil enquanto país e seus agentes causadores de mudança do clima. Eis uma equação intransponível, com exceção dos caminhos de se prevenir emissões.



Foto: Vanessa Pereira, https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0

Publicações vinculadas ao projeto integrativo Segurança Hídrica, Alimentar e Energética - PISHAE

ALMEIDA, M.B.; PUGLIERO, V.S.; ZANETTI, M.R.; BOLFE,E.L; ASSAD, E.D. espacialização de áreas aptas para a citricultura no recôncavo da Bahia. In: **XIX Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 19., 2019, Santos. Anais... Santos: SBSR, 2019.

ARAUJO, Moacyr; OMETTO, Jean; RODRIGUES-FILHO, Saulo; BURSZTYN, Marcel; LINDOSO, Diego P.; LITRE, Gabriela; GAIVIZZO, Larisa; FERREIRA, Julia L.; REIS, RAFAEL, M.; ASSAD, Eduardo. The socio-ecological Nexus+ approach used by the Brazilian Research Network on Global Climate Change. **Current Opinion in Environmental Sustainability**[JCR], v. 39, p. 62-70, 2019.

ASSAD, E. D.; LOPES-ASSAD, M. L. O aquecimento global e a agricultura: mudanças climáticas vão alterar a capacidade de produzir alimentos, no Brasil e no mundo. Como podemos nos adaptar a elas? **Scientific American Brasil**, São Paulo, n. 02, p. 14-19, 2018.

COSTA, Rodrigo Santos; COSTA, Graziela Luzia da; LIMA, Francisco José Lopes de; GONÇALVES, André Rodrigues; MARTINS, Fernando Ramos; PEREIRA, Enio Bueno; CASAGRANDE, Madeleine Sánchez Gácita. Impactos das mudanças climáticas na disponibilidade do recurso energético solar. **Revista Brasileira de Energia**, v. 26, p. 39-50, 2020.

DE SOUZA MEDEIROS, Aldair; MALTA FERREIRA MAIA, Stoécio; DOS SANTOS, Thiago Cândido; DE ARAÚJO GOMES, Tâmara Cláudia. Soil carbon losses in conventional farming systems due to land-use change in the Brazilian semi-arid region. **Agriculture Ecosystems & Environment**[JCR], v. 287, p. 106690, 2020.

EUSÉBIO G.S. Os impactos econômicos da difusão de sistemas sgroflorestais no Brasil. **48º Encontro Nacional De Economia**, Brasília/DF, 2020.

FERREIRA DA COSTA, José Micael; SILVEIRA, Cleiton S.; VASCONCELOS JÚNIOR, Francisco das Chagas; MARCOS JUNIOR, Antonio Duarte; DA SILVA, Marx Vinicius Maciel; RAMOS, Sérgio Filipe Carvalho; PORTO, Victor Costa; SOUZA FILHO, Francisco de Assis; MARTINS, Eduardo S. P. R. The water, climate and energy nexus in the São Francisco River Basin, Brazil: an analysis of decadal climate variability. **Hydrological Sciences Journal-Journal des Sciences Hydrologiques**[JCR], v. 66, p. 1-20, 2021.

PEROSA, B; MANZATTO, C. V.; VICENTE, L. E.; VICENTE, A. K.; SPINELLI-ARAUJO, Luciana; ASSAD, E.; GURGEL, A. Emissões de gases do efeito estufa pela agricultura de baixa emissão de carbono. **Agroanalysis** (FGV), v. 39, p. 29-31, 2019.

PUGLIERO, V. S.; ALMEIDA, M. B.; ZANETTI, M. R.; ASSAD, E. D. Emissões evitadas de GEE através da FBN na expansão da cultura da soja no Brasil entre 2010 a 2016. In: **XIV Mostra de Estagiários e Bolsistas da Embrapa Informática Agropecuária**, 14., 2018, Campinas. *Anais...* Campinas: CNPTIA, 2018.

PUGLIERO, V. S.; ZANETTI, M. R.; ASSAD, E. D. Diagnóstico ambiental: quantificação do passivo em APP hídrica nos municípios da caatinga na bacia do São Francisco. In: **II Simpósio da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco**, 2., 2018, Alagoas. Anais... Alagoas: SBHSF, 2018.

VELLOSO, M. F. A.; MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B.. Case study for hybrid power generation combining hydro- and photovoltaic energy resources in the Brazilian semiarid region. **Clean Technologies and Environmental Policy**[JCR], v. 1, p. 1-14, 2019.

ZANETTI, M.R.; PUGLIERO, V.S.; ALMEIDA, M. B.; ASSAD, E.D. Cálculo de tamanho de amostra para análise de acurácia em mapeamentos temáticos. In: **XIV Mostra de Estagiários e Bolsistas da Embrapa Informática Agropecuária**, 14., 2018, Campinas. Anais... Campinas: CNPTIA, 2018.

ZANETTI, M. R.; PUGLIERO, V. S.; ALMEIDA, M. B.; ASSAD, E. D. Espacialização do passivo em APP hídrica dos municípios da caatinga na Bacia do Rio São Francisco. In: **XIV Mostra de Estagiários e Bolsistas da Embrapa Informática Agropecuária**, 14., 2018, Campinas. Anais... Campinas: CNPTIA, 2018.

Difusão do conhecimento

ASSAD, E. D.; LOPES-ASSAD, M. L. O aquecimento global e a agricultura: mudanças climáticas vão alterar a capacidade de produzir alimentos, no Brasil e no mundo. Como podemos nos adaptar a elas? **Scientific American Brasil**, São Paulo, n. 02, p. 14-19, 2018. Neste artigo são debatidas as questões sobre equilibrar a segurança hídrica, alimentar e energética, num mundo ameaçado pelos impactos do aquecimento global.

Brasil investe em práticas sustentáveis e beneficia produtores, diz representante do Executivo. Divulgado em 20 de jun de 2018. Disponível em: https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2018/06/20/brasil-investe-em-praticas-sustentaveis-e-beneficia-produtores-diz-representante-do-executivo. Reportagem na qual o pesquisador Eduardo Delgado Assad relaciona a recuperação de pastos degradados com neutralização de emissões de metano.

Amazônia: Agropecuária. Eduardo Assad. USP Talks. Divulgado em 31 de out de 2017. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=84jhI19-XL0. Palestra realizada na Universidade de São Paulo para debater o desenvolvimento social e econômico da região sem colocar a floresta abaixo para isso.

Webinário – Projeto Integrativo. As relações entre segurança hídrica, segurança alimentar e segurança energética. Rede Clima 10 de março de 2021 Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=OhHztynpDcM

Referências



Maresias/iStockphoto

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO – ANA (2017). **Região Hidrográfica do São Francisco**. Disponível em: http://www2.ana.gov.br/Paginas/portais/bacias/SaoFrancisco.aspx. Acesso em 22 abr. 2023.

CARVALHO, A. L.; SANTOS, D. V.; MARENGO, J. A.; COUTINHO, S. M. V.; MAIA, S. M. F. Impactos da ocorrência de eventos climáticos extremos na produção agrícola brasileira. **Sustainability in Debate**. Brasília, v. 11, n. 3, p. 211-224, 2020.

CENTRO INTERNACIONAL DE POLÍTICAS PARA O CRESCIMENTO INCLUSIVO IPC-IG, INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA - IPEA & ENVIRONMENTAL DEFENSE FUND - EDF. **Relatório do Seminário Internacional Oportunidades de Negócios para uma Economia Rural Sustentável: a contribuição das florestas e da agricultura**. IPC-IG, Brasília, 2019. Disponível em:https://ipcig.org/sites/default/files/pub/pt-br/JP21PT_International_Seminar_Business_Opportunities.pdf . Acesso em 22 abr 2023.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DO SÃO FRANCISCO E DO PARNAÍBA – CODEVASF (2017). Vale do São Francisco. Disponível em: https://www.codevasf.gov.br/area-de-atuacao/bacia-hidrografica/sao-francisco . Acesso em 22 abr. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE (2010). **Censo Demográfico 2010**. Disponível em: http://biblioteca.ibge.gov.br/pt/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=7552. Acesso em 22 abr. 2023.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories - Agriculture, Forestry and Other Land Use. In: EGGLESTON, S., BUENDIA, L., MIWA, K., NGARA, T., TANABE, K., (Eds.). Hayama: **Intergovernmental Panel on Climate Change**/IGES, 2006. v.4.

MCTI. MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES. Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do clima - Volume IV. **Relatório de Referência: Setor uso da terra, mudança do uso da terra e floresta**. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2020a.

MCTI. MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES. Quarta Comunicação Nacional e Relatórios de Atualização Bienal do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do clima - Volume IV. **Relatório de Referência: Setor Agropecuária – Subsetor Cultivo de Arroz**. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2020b.

MCTI. MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES. Quarta Comunicação Nacional e Relatórios de Atualização Bienal do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do clima - Volume IV. **Relatório de Referência: Setor Agropecuária – Subsetor Fermentação Entérica**. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2020c.

MCTI. MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES. Quarta Comunicação Nacional e Relatórios de Atualização Bienal do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do clima - Volume IV. **Relatório de Referência: Setor Agropecuária – Subsetor Manejo de Dejetos**. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2020d.

MCTI. MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES. Quarta Comunicação Nacional e Relatórios de Atualização Bienal do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do clima - Volume IV. **Relatório de Referência: Setor Agropecuária – Subsetores Solos Manejados, Uso de Calcário e Aplicação de Ureia**. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2020e.

MCTI. MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES. Quarta Comunicação Nacional e Relatórios de Atualização Bienal do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do clima - Volume IV. **Relatório de Referência: Setor Agropecuária – Subsetor Queima de Resíduos Agrícolas**. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2020f.

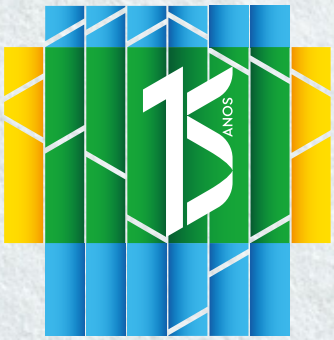
SOUZA FILHO, F. A.; ASSAD, E. D.; FERREIRA MAIA, S. M.; ALVES RUFINO, I. A.; ROCHA, R. V. **Nexus, Clima, Recursos Hídricos, Agricultura e Energia na Bacia Estendida do Rio São Francisco**. UFC, 2022, 944 p. Disponível em: https://www2.ifal.edu.br/campus/marechal/noticias/pesquisas-do-ifal-integram-obra-voltada-aos-desafios-do-rio-sao-francisco-diante-das-mudancas-climaticas/2022_LivroNEXUSBaciadoSoFranciso.pdf

ORR, B.J., A.L. COWIE, V.M. CASTILLO SANCHEZ, P. CHASEK, N.D. CROSSMAN, A. ERLEWEIN, G. LOUWAGIE, M. MARON, G.I. METTERNICHT, S. MINELLI, A.E. TENGBERG, S. WALTER, AND S. WELTON. Scientific Conceptual Framework for Land Degradation Neutrality. A Report of the Science-Policy Interface. **United Nations Convention to Combat Desertification** (UNCCD), Bonn, Germany. Disponível em: https://www.unccd.int/sites/default/files/2018-09/LDN_CF_report_web-english.pdf . Acesso em: 22 abr. 2023.

RIAHI, K.; VAN VUUREN, D. P.; KRIEGLER, E.; EDMONDS, J.; O'NEILL, B. C.; FUJIMORI, S.; ... TAVONI, M.. The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. **Global Environmental Change**, 42, 153–168. doi:10.1016/j.gloenvcha.2016.05.009. 2017.

VILLARIN, M. C.; RODRIGUEZ-GALIANO, V. F. Machine Learning for Modeling Water Demand. **J. Water Resour. Plan**. Manag. 145, 1–15, doi:10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0001067. 2019.

XAVIER, A. C.; KING, C. W.; SCANLON, B. R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980-2013). **International Journal of Climatology**. v. 36, p. 2644-2659, 2015.



Rede Clima
Mudanças Ambientais
Globais no Brasil



Cemaden
Centro Nacional de Monitoramento
e Alertas de Desastres Naturais







MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÃO

GOVERNO FEDERAL
BRASIL
UNIÃO E RECONSTRUÇÃO