

Organização:

FUNARBE
FUNDAÇÃO ARTHUR BERNARDINI

UFV
UNIVERSIDADE FEDERAL
DE VIÇOSA



AKSAAM

Financiamento:



Impactos das
MUDANÇAS CLIMÁTICAS na
AGRICULTURA FAMILIAR
— das
Regiões NORTE e NORDESTE
DO BRASIL



IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA AGRICULTURA FAMILIAR DAS REGIÕES NORTE E NORDESTE DO BRASIL

BRASIL - Março, 2023.

AUTORES

Dênis Antônio Da Cunha

Doutor em Economia Aplicada e Bacharel em Ciências Econômicas. Professor Associado do Departamento de Economia Rural da Universidade Federal de Viçosa (DER - UFV).



Lais Rosa de Oliveira

Mestre em Meteorologia Aplicada e Engenheira Agrimensora e Cartógrafa. Atualmente, é Doutoranda em Meteorologia Aplicada na Universidade Federal de Viçosa (UFV).



Ficha catalográfica elaborada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da Universidade Federal de Viçosa

C972i
2023

Cunha, Dênis Antônio da, 1983-
Impactos das mudanças climáticas na agricultura familiar das
regiões Norte e Nordeste do Brasil [recurso eletrônico] / Dênis
Antônio da Cunha, Lais Rosa de Oliveira -- Viçosa, MG : UFV,
IPPDS, 2023.

1 livro eletrônico (73 p.) : il. color.

Disponível em: <https://aksaam.ufv.br/publicacoes>
Bibliografia: p. 67-73.
ISBN 978-85-60601-13-4

1. Mudanças climáticas – Brasil, Norte. 2. Mudanças climáticas –
Brasil, Nordeste. 3. Agricultura familiar. I. Oliveira, Lais Rosa de,
1993-. II. Fundação Arthur Bernardes. III. Universidade Federal de
Viçosa. Instituto de Políticas Públicas e Desenvolvimento Sustentável.
Projeto Adaptando Conhecimento para a Agricultura Sustentável
e o Acesso a Mercados. IV. Fundo Internacional de Desenvolvimento
Agrícola. V. Título.

CDD 22. ed. 551.525309811

Bibliotecária responsável: Bruna Silva CRB6/2552

IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA AGRICULTURA FAMILIAR DAS REGIÕES NORTE E NORDESTE DO BRASIL

Realização: Projeto AKSAAM - Adaptando Conhecimento para a Agricultura Sustentável e o Acesso a Mercados - IPPDS/UFV

Financiamento: Fundo Internacional de Desenvolvimento Agrícola (FIDA)

Coordenador: Marcelo José Braga

Autoria: Dênis Antônio Da Cunha e Lais Rosa de Oliveira

Revisão Linguística: Cinthia Maritz dos Santos Ferraz Machado

Layout, diagramação e capa: Adriana Freitas

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO 9

CAPÍTULO 1
CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS
NAS REGIÕES NORTE E NORDESTE 17

CAPÍTULO 2
IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS
NA AGRICULTURA FAMILIAR DAS
REGIÕES NORTE E NORDESTE 30

CAPÍTULO 3
AUMENTO DA RESILIÊNCIA E MITIGAÇÃO
DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA
AGRICULTURA FAMILIAR 52

CONSIDERAÇÕES FINAIS 61

INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas representam um dos grandes desafios que governantes, formuladores de política e a sociedade civil em geral enfrentam no século XXI. De acordo com o Sexto Relatório de Avaliação – AR6, do Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC-AR6, 2021, p. 9), as mudanças recentes no sistema climático, em especial, o aquecimento da atmosfera, causadas “inequivocamente” por atividades antrópicas, “não têm precedentes ao longo de muitos séculos há milhares de anos”. As conclusões do IPCC-AR6 apontam que **“cada uma das últimas quatro décadas [1980 a 2020] foi sucessivamente mais quente do que qualquer década que a precedeu desde 1850”** e que eventos climáticos extremos, como ondas de calor, tempestades, secas e ciclones tropicais, “tornaram-se mais frequentes e mais intensos na maioria das regiões terrestres desde a década de 1950” (IPCC-AR6, 2021, p. 5; 10).

Todas as regiões do planeta estão (e continuarão) sendo afetadas pelas mudanças do clima. Entretanto, os riscos e impactos são muito distintos, tanto em termos locais quanto setoriais. As regiões semiáridas e as que estão localizadas em latitudes médias e baixas tendem a ser mais expostas a efeitos das mudanças climáticas, tais como extremos de calor e períodos com déficit anormal de umidade do solo (combinação de precipitação muito baixa ou escassa e excesso de evapotranspiração). Esse último impacto, chamado de **“seca agrícola e ecológica”**, se tornará mais comum em diversas regiões globais, inclusive na América do Sul, prejudicando a produção de alimentos e as funções ecossistêmicas de modo geral (IPCC-AR6, 2021). No Brasil, espera-se que as regiões Norte e Nordeste sejam ainda mais expostas aos efeitos das mudanças climáticas.

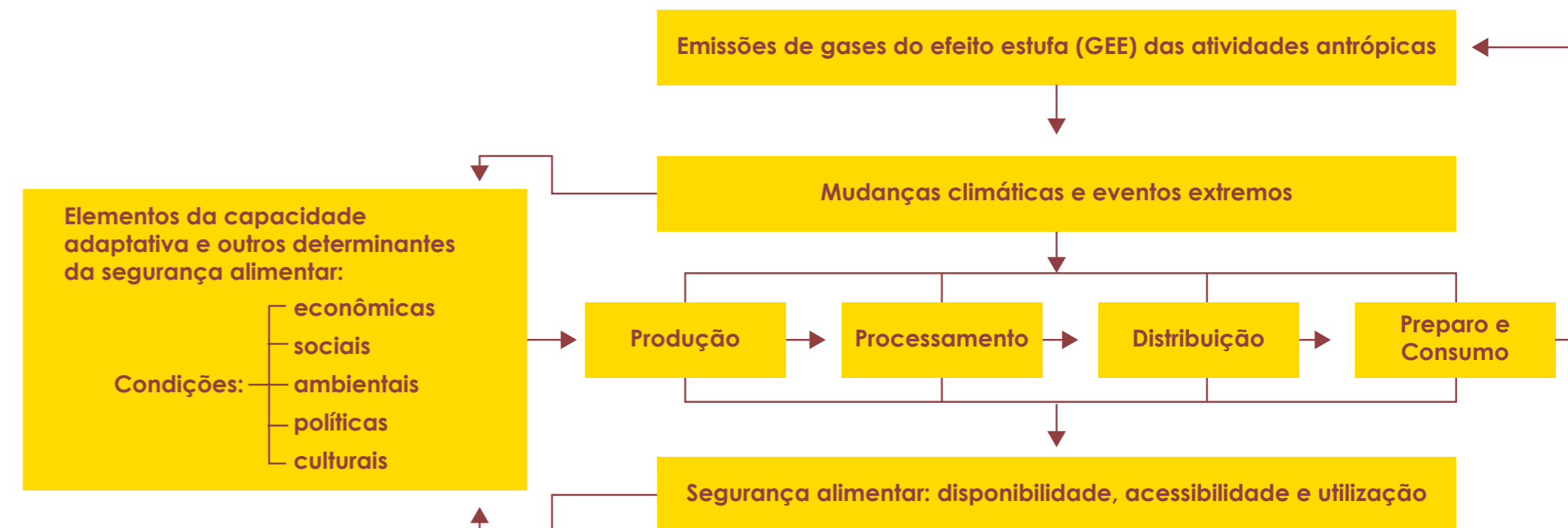


O **setor agropecuário é um dos que sofrem os maiores impactos negativos** resultantes das mudanças do clima. A principal conclusão das pesquisas é que as secas, a maior variabilidade da precipitação, a elevação das temperaturas médias e os extremos de calor, bem como as grandes concentrações atmosféricas de gás carbônico, **já estão causando perdas de safras e redução da produtividade agrícola**, as quais tendem a se intensificar em cenários futuros de mudanças climáticas (JÄGERMEYR *et al.*, 2021; MÜLLER *et al.*, 2021). Tais prejuízos dificultam a superação de outros grandes desafios globais, em especial a pobreza e a desigualdade de renda, a insegurança alimentar e a fome.

Dessa forma, pode-se afirmar que há um nexo entre esses temas, como mostra a Figura 1 (CHARLES; KALIKOSKI; MACNAUGHTON, 2019; SCHNITTER; BERRY, 2019). As perdas agrícolas reduzem a atividade econômica das regiões mais dependentes do setor primário, **umentando o desemprego**. Por consequência, a menor produção de alimentos eleva os seus preços e os dos demais produtos da cadeia produtiva, **prejudicando o consumo**, a qualidade nutricional da dieta e a saúde da população. A esse respeito, de acordo com Mbow e colaboradores, ao longo do século XXI, pode haver

“até 183 milhões de pessoas a mais em risco de fome em comparação com um cenário sem mudanças climáticas”
(MBOW *et al.*, 2019, p. 439).

Figura 1 – Nexos entre mudança climática, agricultura e (in)segurança alimentar



Fonte: Adaptada de Schnitter e Berry (2019).

O referidonexo tem ainda outra dimensão, que está associada às emissões de gases de efeito estufa (GEE) do Setor de Agricultura, Floresta e Outros Usos da Terra (AFOLU). Conforme dados do relatório “Climate Change and Land”, publicado pelo IPCC (2019), no período de 2007 a 2016, as atividades do setor AFOLU geraram cerca de 23% de emissões antropogênicas líquidas globais de GEE. Além disso, se a redução da produtividade agrícola esperada for compensada pela expansão das áreas plantadas e, conseqüentemente, pelo aumento do desmatamento, as emissões de GEE aumentarão ainda mais. De acordo com Leite-Filho e colaboradores (2021, p. 5), “**o desmatamento não resulta apenas em emissões de CO2 e perda irreversível da biodiversidade (...), mas também impõe enormes perdas (...) de produtividade ao agronegócio**”. Ou seja, os impactos negativos sobre a agricultura, economia e segurança alimentar podem ser intensificados e retroalimentados.

Algumas particularidades, como o nível de exposição à mudança do clima (local-dependente), a importância do setor agrícola para a geração da renda nacional e fatores socioeconômicos, políticos, culturais e institucionais das populações, podem agravar o nexo “**mudança climática - agricultura - pobreza - insegurança alimentar/fome**”. Segundo Roy e colaboradores (2018, p. 447), as mudanças no clima “**afetam desproporcionalmente as populações desfavorecidas e vulneráveis por meio de insegurança alimentar, preços mais altos dos alimentos, perdas de renda, perda de oportunidades de subsistência, impactos adversos na saúde e deslocamentos populacionais**”. Sobre isso, Charles, Kalikoski e Macnaughton (2019) explicam que os impactos são mais intensos em áreas rurais nas quais pequenos agricultores pobres têm sua subsistência baseada nas atividades agrícolas. Por terem menos acesso a ativos (terra e capital, por exemplo), eles enfrentam as “**maiores dificuldades em antecipar, enfrentar, adaptar e transformar seus meios de subsistência ou modo de vida**” (CHARLES; KALIKOSKI; MACNAUGHTON, 2019, p. 6).

Os pequenos produtores e os agricultores familiares formam “grupos com alta dependência de recursos naturais para subsistência, renda, alimentação e bem-estar” CHARLES; KALIKOSKI; MACNAUGHTON, 2019, p. 7). Esses grupos de agricultores possuem baixa capacidade adaptativa e, conseqüentemente, poucas opções de gestão de riscos, pois as decisões de produção e consumo estão intimamente relacionadas (CHARLES; KALIKOSKI; MACNAUGHTON, 2019). Tais particularidades tendem a intensificar as situações de pobreza e insegurança alimentar resultantes dos impactos das mudanças do clima nesses grupos.

Pequenos produtores versus agricultores familiares



A literatura sobre mudança climática consultada para a realização deste trabalho não apresenta uma definição homogênea dos termos “pequeno produtor rural” (*smallholder*) e “agricultor familiar” (*family farmer*). Alguns autores utilizam os termos como sinônimos, ao passo que outros distinguem os dois grupos (por exemplo, são considerados pequenos agricultores apenas aqueles que utilizam, no máximo, dois hectares de terra para realizar suas atividades). Há, ainda, aqueles que consideram os pequenos agricultores como um subgrupo dos agricultores familiares, dada a grande heterogeneidade desses últimos (LOWDER; SKOET; RANEY, 2016). A maioria das definições concorda que agricultores familiares são aqueles que dependem do trabalho familiar para gestão e operação das atividades agrícolas e da propriedade em geral, da qual provém sua principal fonte de renda e sustento (GRAEUB et al., 2016). No Brasil, a “Unidade Familiar de Produção Agrária” é definida como sendo aquela que possui área de até quatro módulos fiscais* e que obtém a maior parte da renda das atividades desenvolvidas no próprio estabelecimento, utilizando, sobretudo, mão de obra familiar para a produção e a gestão (Lei N.º 11.326/2006, alterada pelo Decreto N.º 9.064/2017). Com base na definição legal, Gori Maia e Schons (2020, p. 185) explicam que a agricultura familiar inclui “as famílias rurais que desenvolvem atividades agropecuárias e extrativistas (produtos florestais e pesca, por exemplo) para subsistência e, ou, para obtenção de renda; (...) esse grupo compreende (...) pequenos proprietários de terra assentados pelo governo, (...) indígenas, quilombolas (...), caboclos (...), seringueiros (...) e famílias ribeirinhas”. Trata-se, portanto, de um grupo muito heterogêneo. Os dados do Censo Agropecuário 2017 (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 2019) permitem afirmar, por exemplo, que a maioria dos pequenos agricultores brasileiros (com até dois hectares de área) é familiar (77,8%), embora nem todos os estabelecimentos da agricultura familiar sejam, necessariamente, pequenos (as propriedades desse grupo possuem, em média, 20,8 hectares). Como está fora do escopo deste estudo identificar os elementos que diferenciam os grupos “pequeno produtor rural” e “agricultor familiar”, destaca-se que o foco aqui está nos agricultores “inerentemente vulneráveis às mudanças climáticas”, ou seja, aqueles que são mais sensíveis, pois: (i) sua sobrevivência está diretamente ligada à prática agrícola; (ii) sua propriedade está localizada em áreas mais expostas aos riscos climáticos; e (iii) possuem menor capacidade adaptativa devido a piores condições socioeconômicas e institucionais.

*De acordo com o Decreto N.º 9.064/2017, módulo fiscal se refere a uma “unidade de medida agrária para classificação fundiária do imóvel, expressa em hectares, a qual poderá variar conforme o município, calculada pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária - Incra”.

Embora tenham sido elencadas diversas características que explicam a maior vulnerabilidade às mudanças climáticas da agricultura familiar, é preciso ressaltar que esse grupo também possui importantes fatores de resiliência, tais como:

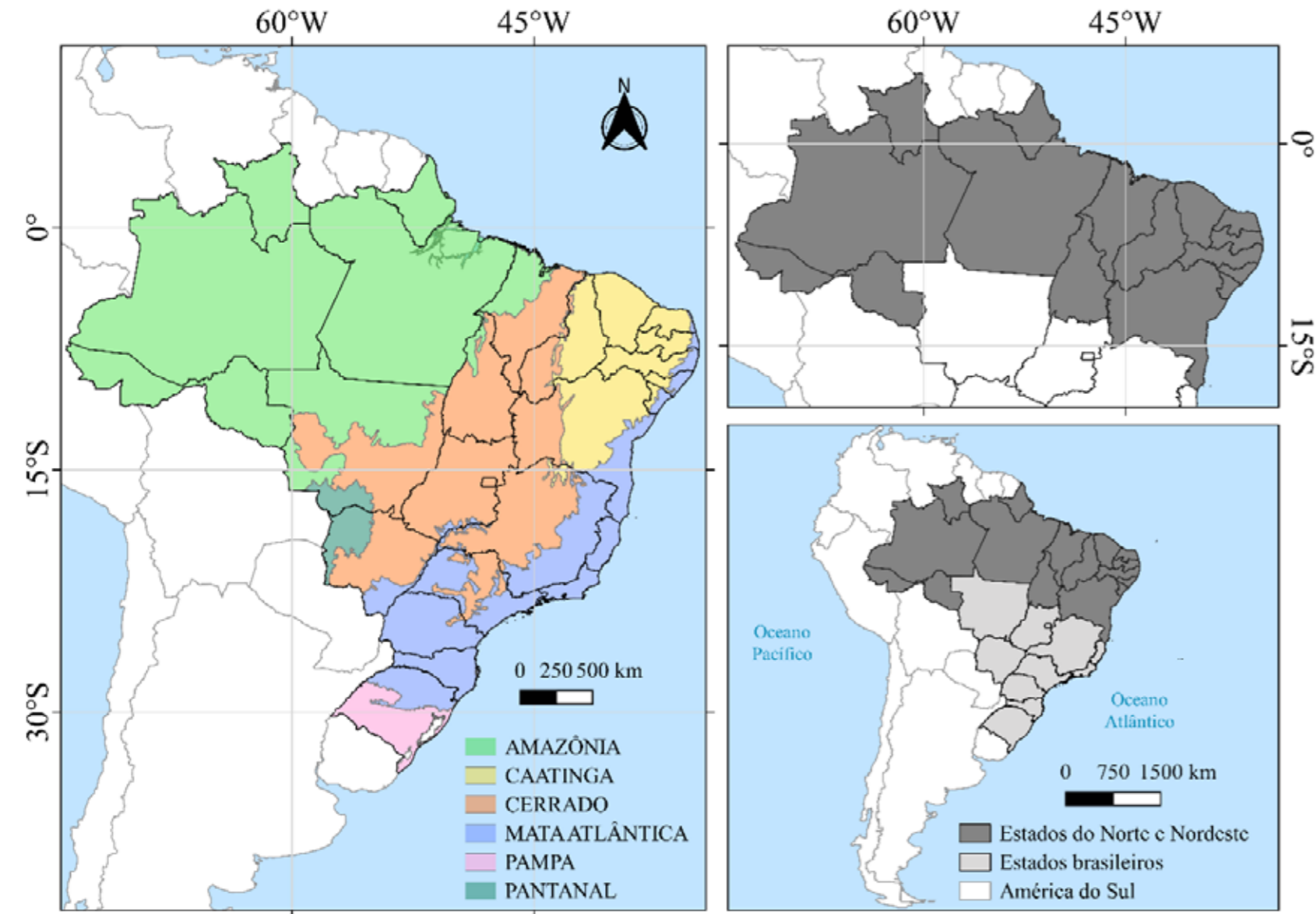
- Utilização eficiente da mão de obra familiar para a produção de alimentos e de matérias-primas para uso na própria propriedade (MORTON, 2007);
- Conhecimentos tradicionais dos povos indígenas e das comunidades quilombolas e de fundo e de fecho de pasto, ribeirinhas, seringueiros, entre outras. Tais saberes, típicos de suas atividades cotidianas, e aperfeiçoados ao longo dos séculos, garantem acesso a mais meios de subsistência e facilitam o enfrentamento de riscos e crises (MORTON, 2007);
- Adoção de sistemas de produção agrícola mais diversificados e com maior conservação dos recursos naturais, fatores que contribuem para a redução dos riscos alimentares e da variabilidade da renda familiar (PEREIRA; CASTRO, 2022).
- Utilização de sementes "crioulas", que foram selecionadas naturalmente ao longo das gerações e que conservam características desejáveis, como, por exemplo, maior tolerância aos estresses climáticos ou produtividade mais alta; e também algumas espécies de animais, como galinhas e cabras, que são mais resistentes e adaptadas às condições do Semiárido (DA CUNHA, 2022).
- Contribuição para a redução do desmatamento e regeneração da vegetação nativa, protegendo a biodiversidade, à qual sua qualidade de vida está direta e indiretamente associada. Especificamente, na Amazônia, entre os anos de 2012 e 2017, as terras indígenas e os territórios quilombolas foram os que mais contribuíram para a regeneração da vegetação nativa (ALVES-PINTO *et al.*, 2022).

Diante do que foi exposto, o presente estudo tem dois objetivos principais: (i) sintetizar as principais conclusões da literatura sobre mudanças climáticas nas regiões Norte e Nordeste do Brasil e seus impactos na agricultura familiar; e (ii) apresentar recomendações de enfrentamento, ou seja, convivência e adaptação, bem como caminhos para o desenvolvimento sustentável da atividade agrícola familiar. Serão considerados os mais recentes cenários de mudanças do clima global apresentados no IPCC-AR6 (2021), buscando compreender riscos projetados para essas duas regiões brasileiras. As análises aqui apresentadas expandem e complementam o estudo "Mudança do clima e os impactos na agricultura familiar no Norte e Nordeste do Brasil" de Machado Filho e colaboradores (2016), cujas conclusões foram baseadas no relatório anterior do IPCC – AR5 (2013).

A Figura 2 mostra as regiões consideradas neste estudo e destaca os biomas que estão localizados em cada uma delas. O Norte é caracterizado pela presença da Floresta Amazônica, com vegetação exuberante e diversificada, e se constitui uma das áreas mais ricas em biodiversidade do planeta. No Nordeste, a Caatinga é o principal bioma presente, com vegetação adaptada às condições de aridez e escassez de água; mas nele há também a presença de áreas de transição para o Cerrado e a Mata Atlântica, bem como os ecossistemas costeiros e de manguezais.

O estudo possui outras quatro seções além desta introdução, nas quais serão apresentados: o padrão histórico e cenários futuros das variáveis precipitação e temperatura nas regiões Norte e Nordeste; os principais impactos das mudanças climáticas na agricultura familiar com base na literatura especializada; as discussões sobre alternativas de aumento da resiliência e mitigação das mudanças climáticas na agricultura familiar; e as considerações finais.

Figura 2 - Regiões Norte e Nordeste e biomas presentes no território brasileiro



Fonte: Elaboração própria com base em dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE.

CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS NAS REGIÕES NORTE E NORDESTE

A mudança do clima é um fenômeno global inequivocamente influenciado pelas atividades humanas. Embora países do mundo inteiro já estejam sendo afetados, as manifestações são regionalmente distintas (IPCC-AR6, 2021). Por isso, obter informações climáticas em escala local é muito importante para o desenho adequado de políticas de adaptação e mitigação – sobretudo no Brasil, dadas as suas dimensões continentais. De acordo com o IPCC-AR6 (2021, p. 1366), “as análises regionais das distribuições de precipitação, temperatura (...) e da frequência e intensidade de eventos extremos, são mais acuradas do que as projeções globais”. Portanto, nesta seção são apresentados dados sobre os padrões históricos e os cenários futuros de variáveis climáticas para o Norte e o Nordeste, com vistas a melhor compreender os riscos regionais. As informações são espacializadas, o que permite que os formuladores de políticas locais acessem, de forma mais detalhada, as tendências climáticas e, assim, possam pensar em estratégias para minimizar os efeitos adversos previstos (DA SILVA *et al.*, 2019).

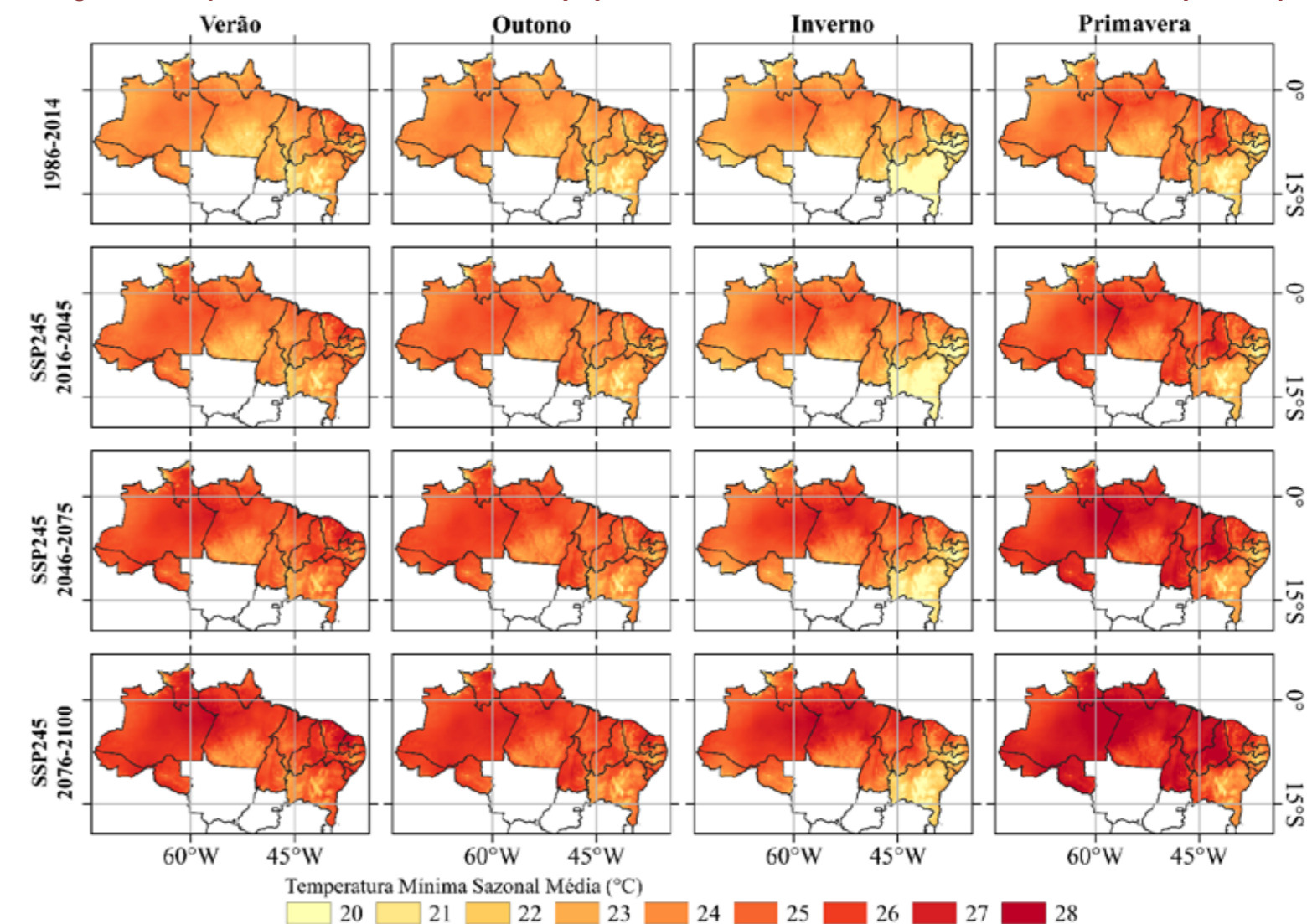
As Figuras 3 a 8 mostram o comportamento passado (1986 a 2014) e simulações futuras em três períodos (2016 a 2045, 2046 a 2075 e 2076 a 2100) das variáveis temperatura mínima e máxima e precipitação acumulada média, para as quatro estações do ano, nas regiões Norte e Nordeste do Brasil. Os dados apresentados nessas figuras, organizados especialmente para este estudo pelo Grupo de Pesquisas em Climatologia Aplicada (CLIMAP), da Universidade Federal de Viçosa (UFV)¹, fazem parte do mesmo conjunto de informações em que foram baseadas as conclusões do Grupo de Trabalho I (The Physical Science Basis) do IPCC-AR6 (2021).

¹ Informações sobre o CLIMAP/UFV podem ser obtidas em <https://climap.ufv.br/>.

As simulações futuras resultam de estimativas dos Modelos de Circulação Geral (MCG), disponibilizados pelo Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 – CMIP6. O CMIP6 contém um grande conjunto de MCG construídos por diferentes grupos de pesquisa, que realizam simulações de variáveis climáticas para todas as regiões do planeta. Para o presente estudo, foram selecionados os quatro MCG (ACCESS-ESM1-5; CMCC-CM2-SR5; MIROC6; e MRI-ESM2-0) que tiveram o melhor desempenho ao simularem as condições históricas de temperatura e precipitação das regiões brasileiras, conforme os resultados de Firpo e colaboradores (2022). Os dados dos modelos foram obtidos em uma resolução espacial de 0.25°x0.25°, o que equivale a pixels de aproximadamente 28 km². Os dados apresentados nas Figuras 3 a 8 representam a média dos quatro modelos utilizados; essa escolha foi feita buscando a melhor compreensão da trajetória observada das variáveis climáticas no passado, bem como sua evolução futura projetada (PAPALEXIOU *et al.*, 2020; AVILA-DIAZ *et al.*, 2023), evitando *outliers* e minimizando a variabilidade interna de cada MCG.

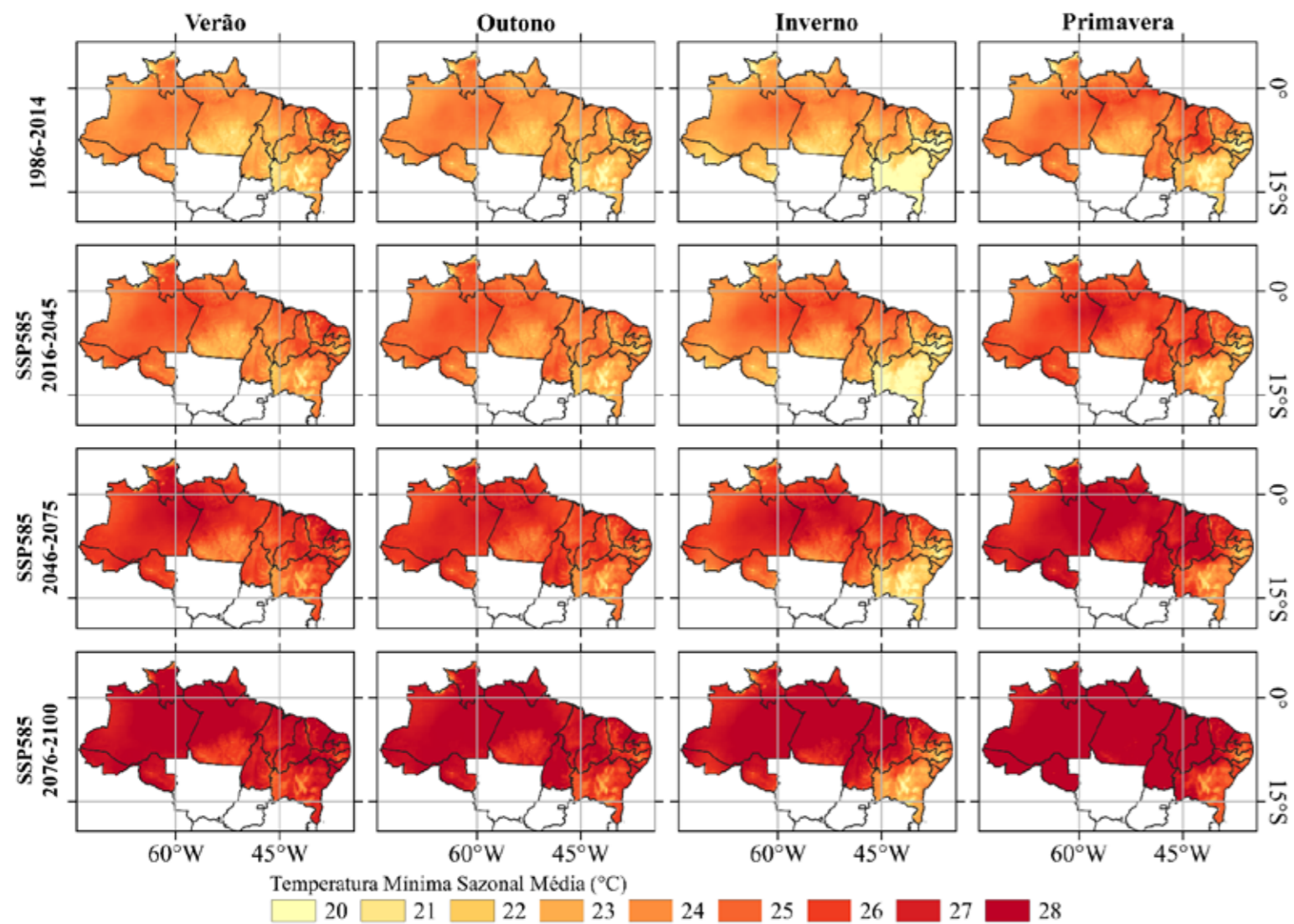
Os dois cenários de mudança climática escolhidos foram os Shared Socioeconomic Pathways SSP2-4.5 e SSP5-8.5. Os SSPs são resultantes de “diferentes trajetórias de emissões de gases de efeito estufa (GEE), construídas com base em suposições sobre crescimento populacional, estilos de vida, uso de combustíveis fósseis (...), mudanças no uso da terra, desenvolvimento tecnológico e socioeconômico etc.” (DA CUNHA, 2022, p. 6). Ou seja, são descrições de futuros plausíveis que fornecem cenários de desenvolvimento socioeconômico global, baseados em diferentes combinações de fatores demográficos, econômicos, tecnológicos e políticos (IPCC-AR6, 2021).. Ballarin e colaboradores (2023) explicam que o SSP2-4.5 pressupõe um nível intermediário de emissões de GEE (“o meio do caminho”), ao passo que o SSP5-8.5 considera uma trajetória pessimista (“desenvolvimento movido a combustíveis fósseis”). A maior parte das pesquisas revisadas na terceira seção deste estudo também utiliza os cenários intermediário e pessimista, porém, com base nas estimativas do IPCC-AR5 (2013).

Figura 3 - Temperatura mínima sazonal média (°C), tendência histórica e cenário futuro “intermediário” (SSP2-4.5)



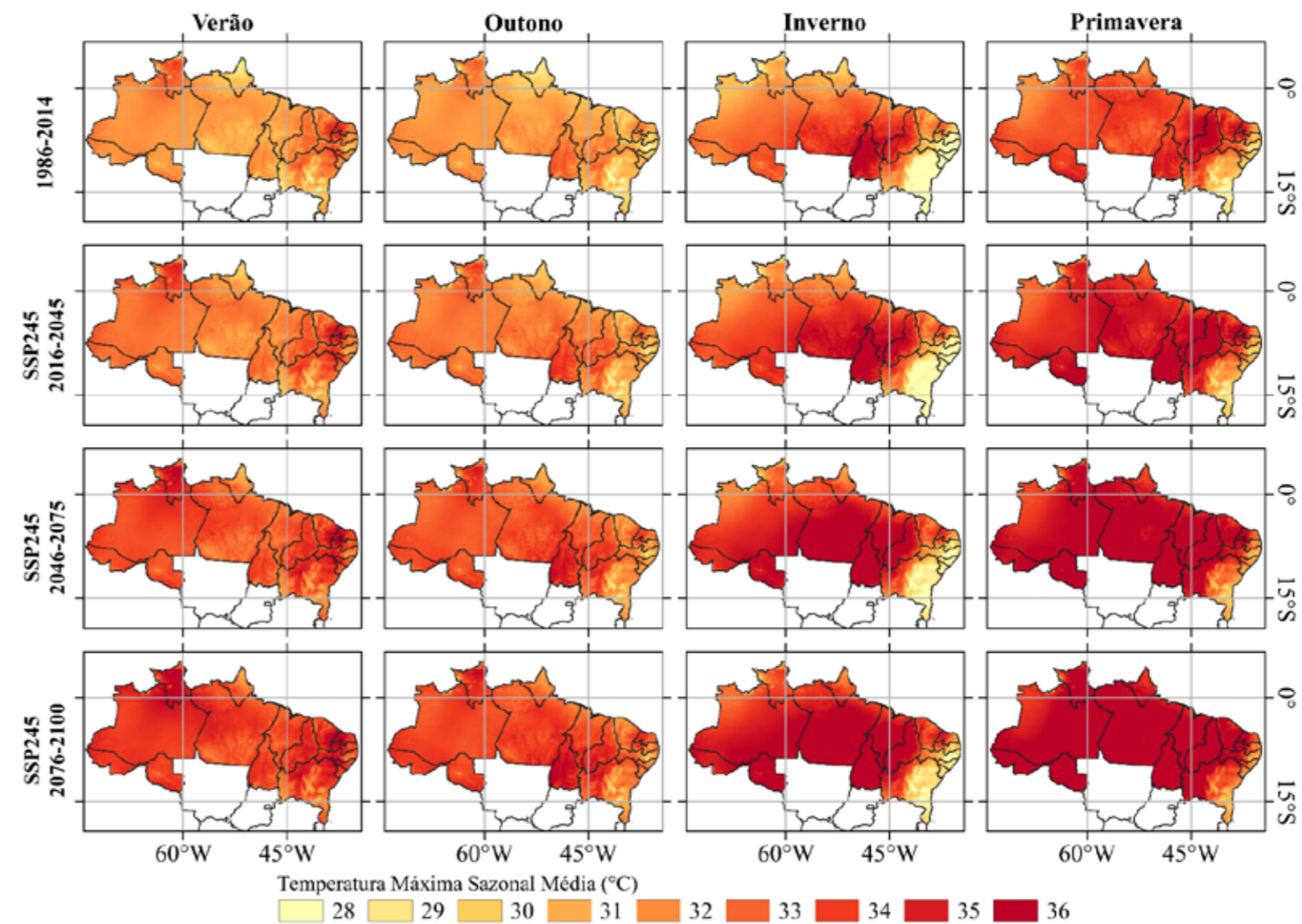
Fonte: Elaboração dos autores a partir de NEX-GDDP-CMIP6 (2021).

Figura 4 - Temperatura mínima sazonal média (°C), tendência histórica e cenário futuro “pessimista” (SSP5-8.5)



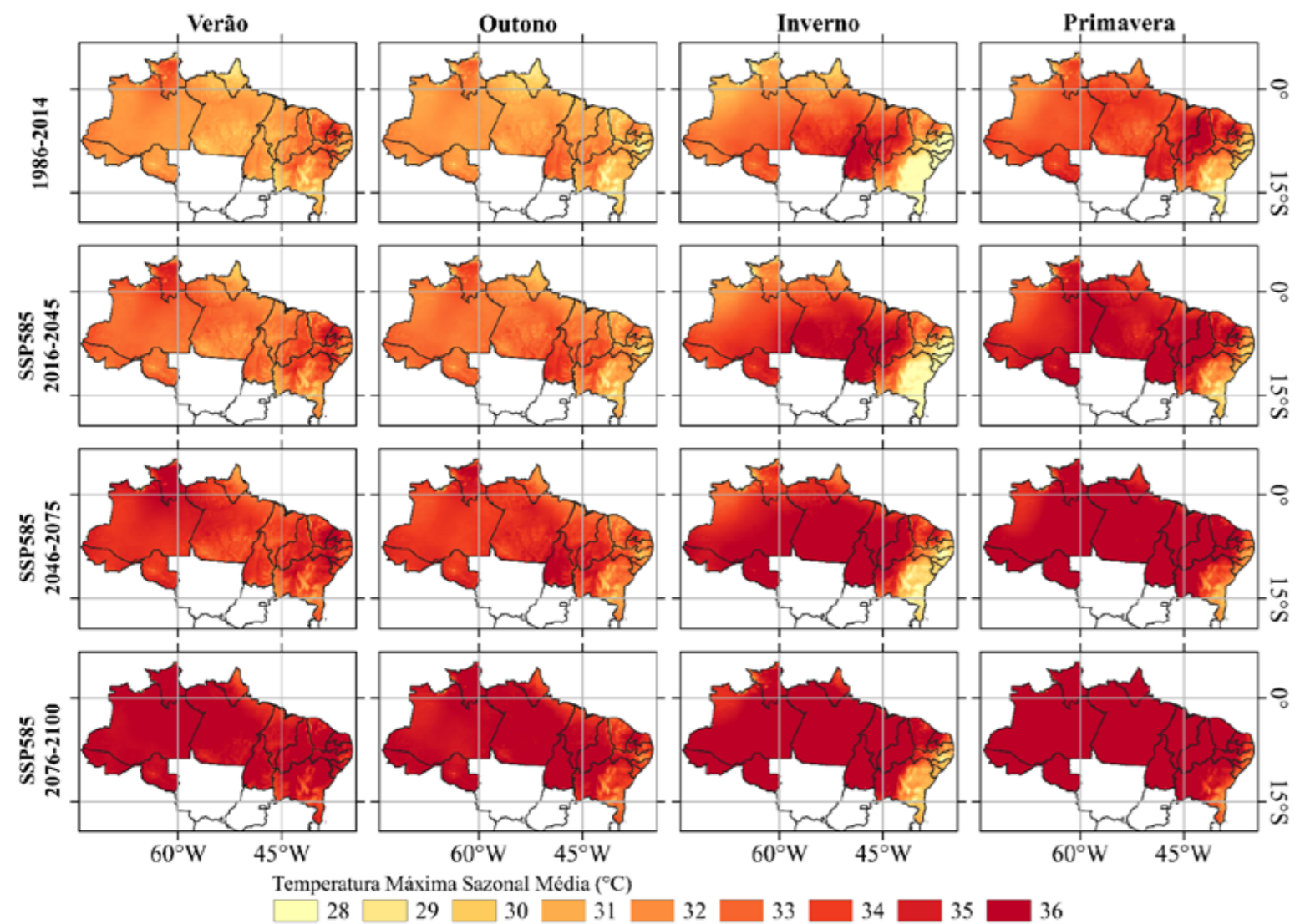
Fonte: Elaboração dos autores a partir de NEX-GDDP-CMIP6 (2021).

Figura 5 - Temperatura máxima sazonal média (°C), tendência histórica e cenário futuro “intermediário” (SSP2-4.5)



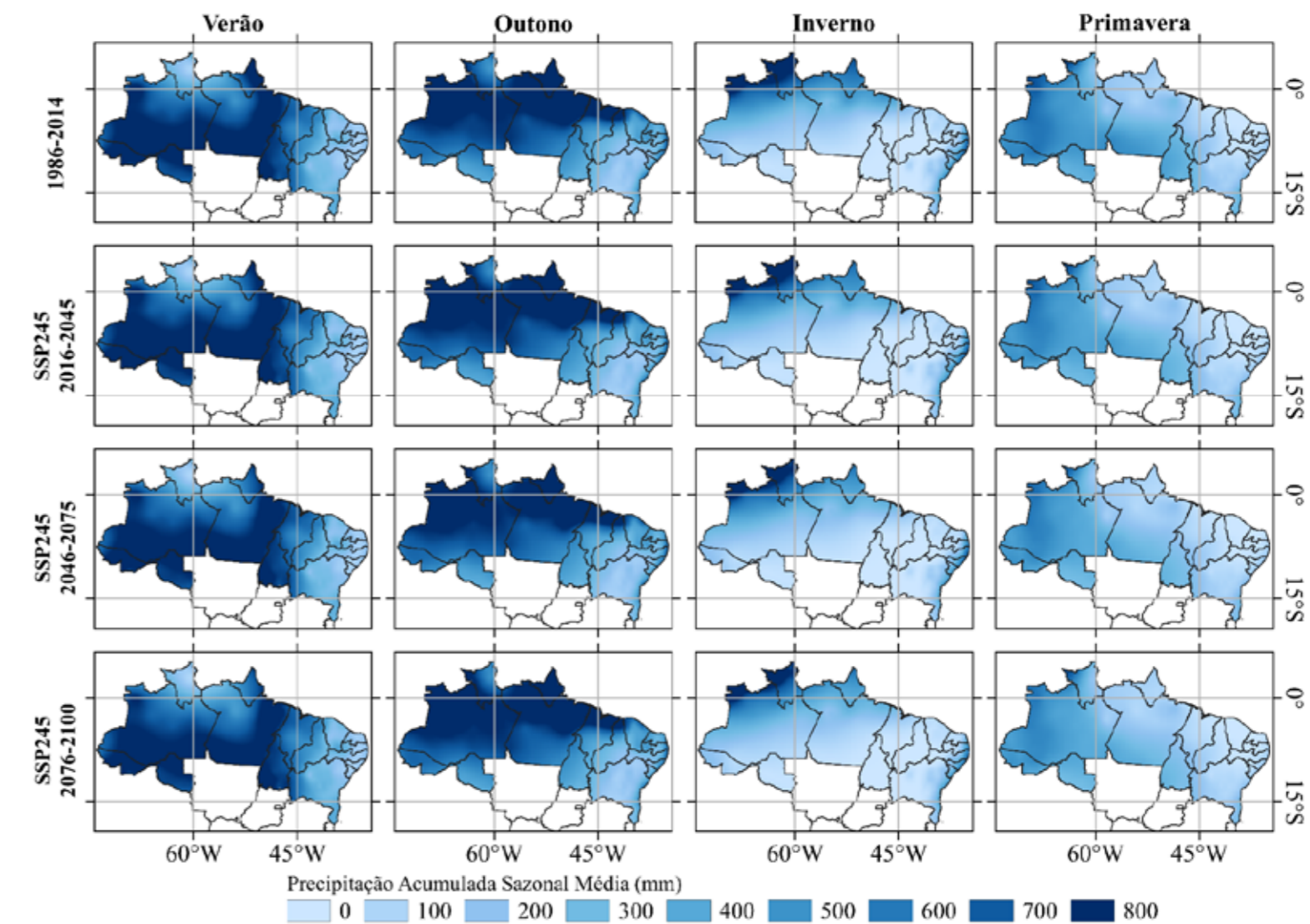
Fonte: Elaboração dos autores a partir de NEX-GDDP-CMIP6 (2021).

Figura 6 - Temperatura máxima sazonal média (°C), tendência histórica e cenário futuro "pessimista" (SSP5-8.5)



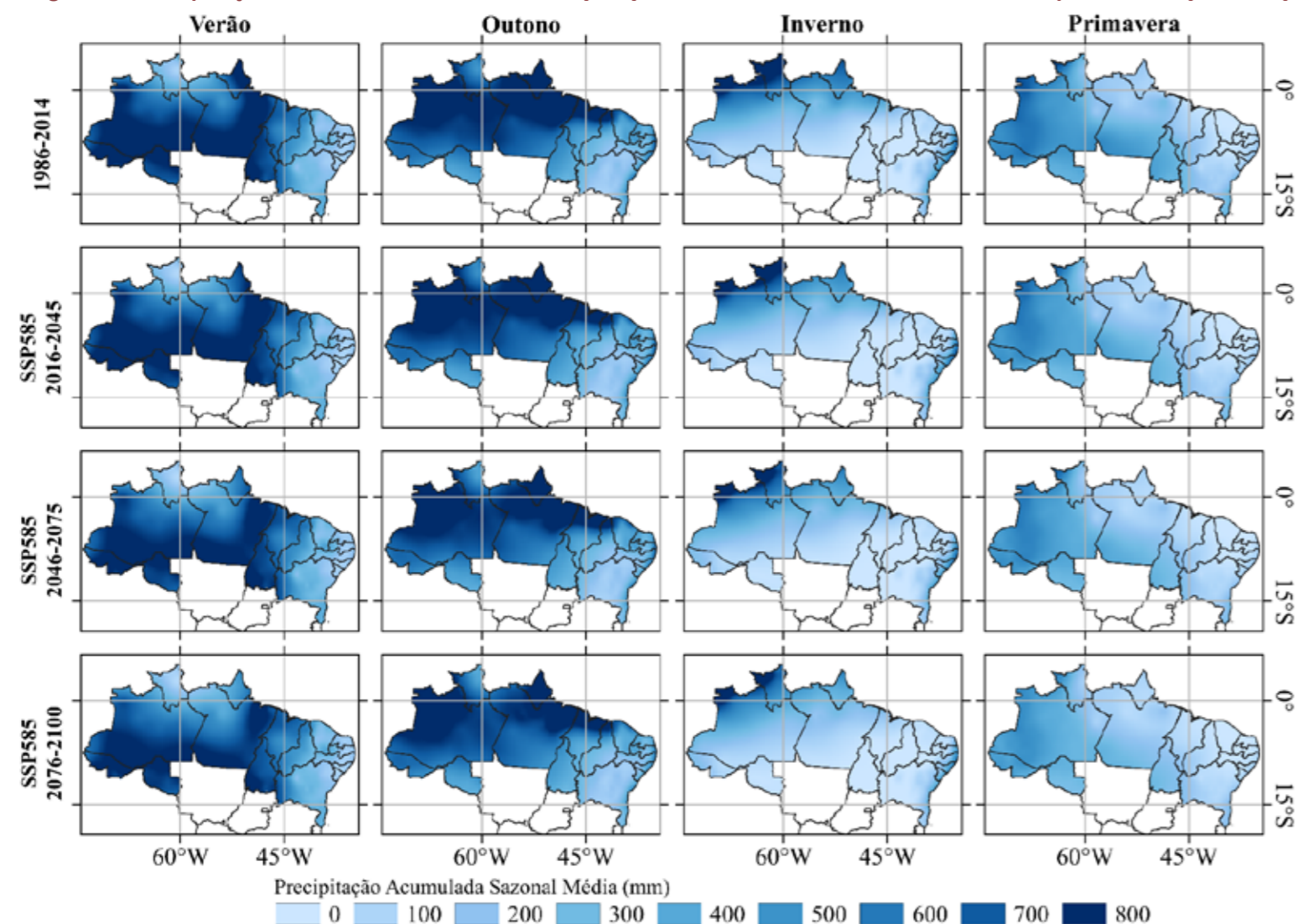
Fonte: Elaboração dos autores a partir de NEX-GDDP-CMIP6 (2021).

Figura 7 - Precipitação acumulada sazonal média (mm), tendência histórica e cenário futuro "intermediário" (SSP2-4.5)



Fonte: Elaboração dos autores a partir de NEX-GDDP-CMIP6 (2021).

Figura 8 - Precipitação acumulada sazonal média (mm), tendência histórica e cenário futuro “pessimista” (SSP5-8.5)



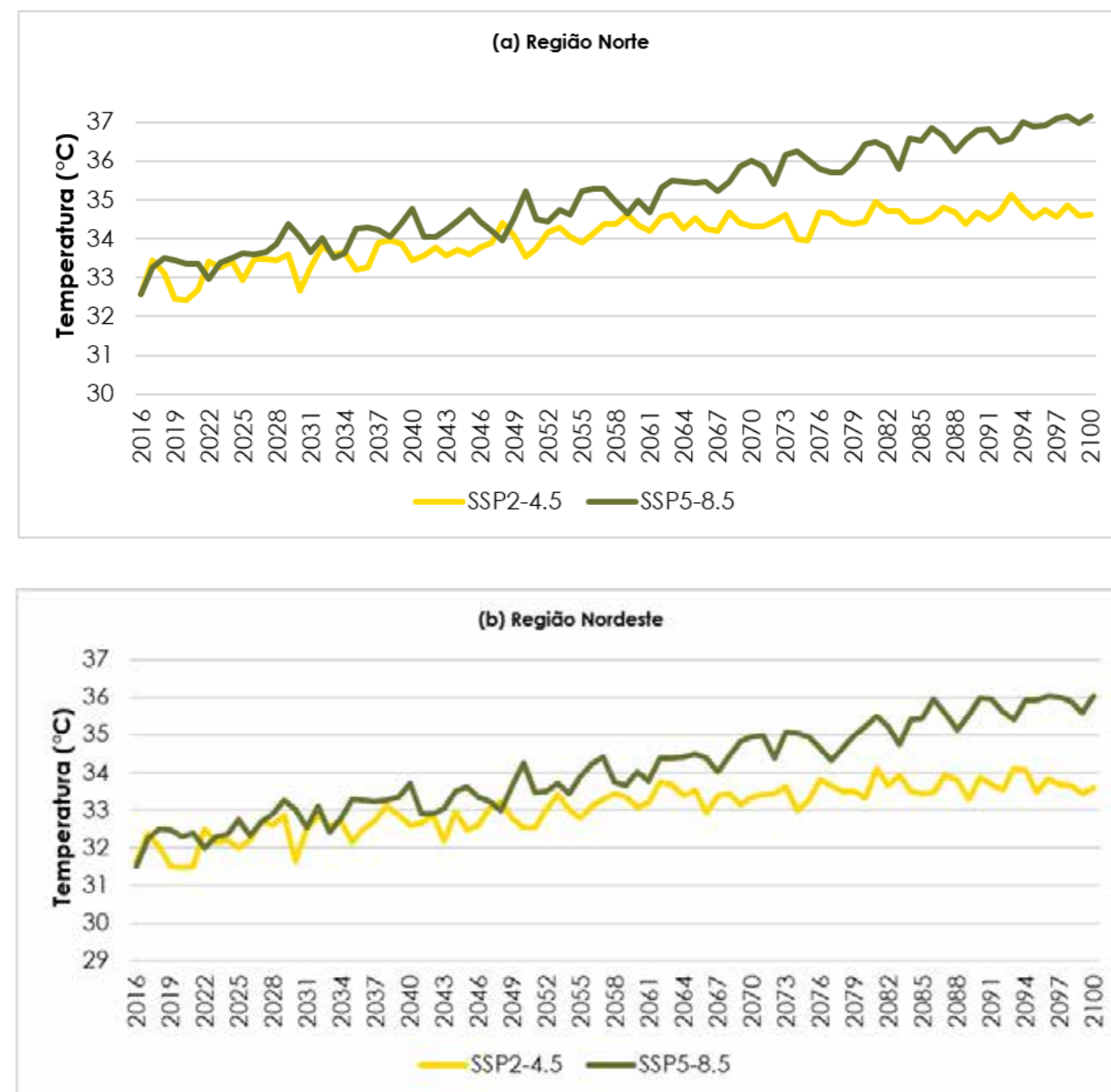
Fonte: Elaboração dos autores a partir de NEX-GDDP-CMIP6 (2021).

Embora sejam regiões com características climáticas distintas, os cenários futuros do IPCC-AR6 (2021) indicam que o Norte e o Nordeste sofrerão alguns impactos semelhantes como resultados das mudanças climáticas. De modo geral, a análise das Figuras 3 a 8 indica que ambas as regiões terão elevação nos extremos de temperatura (mínima e máxima) e redução no volume de precipitação. Espera-se, também, que os efeitos sejam mais intensos a partir da segunda metade do século XXI e no cenário “pessimista” (SSP5-8.5). Deve-se ressaltar que esses efeitos possuem grande variabilidade espacial. No caso do Nordeste, por exemplo, as áreas costeiras são menos impactadas; para a região Semiárida são esperados os maiores extremos de calor e, principalmente, volumes de chuva bem menores. Cortez e colaboradores (2022) também demonstram grande variabilidade espacial dos padrões de chuvas extremas nas regiões aqui estudadas. Segundo os autores, espera-se aumento das chuvas extremas (50 a 80 mm.dia⁻¹) no litoral do Nordeste e nas regiões central e o noroeste da Amazônia, e redução no Semiárido.

A Figura 9 apresenta o comportamento da temperatura máxima (média anual) nos dois cenários de mudança climática considerados neste estudo (mapas das Figuras 3 a 6). Em ambas as regiões, a tendência de aquecimento é muito expressiva³. Em relação ao presente, na região Norte, os modelos preveem aumentos na temperatura máxima, que podem variar de 0,95°C a 2,66°C até 2050 (cenários “intermediário” - SSP2-4.5 e “pessimista” - SSP5-8.5, respectivamente) e de 2,04°C a 4,67°C até 2100. Na região Nordeste, esses valores podem variar de 0,92°C a 2,74°C até 2050 e de 1,98°C a 4,51°C até 2100.

3 A tendência é semelhante para a temperatura mínima, cujos resultados não foram mostrados aqui.

Figura 9 - Temperatura máxima anual média (°C), cenários futuros

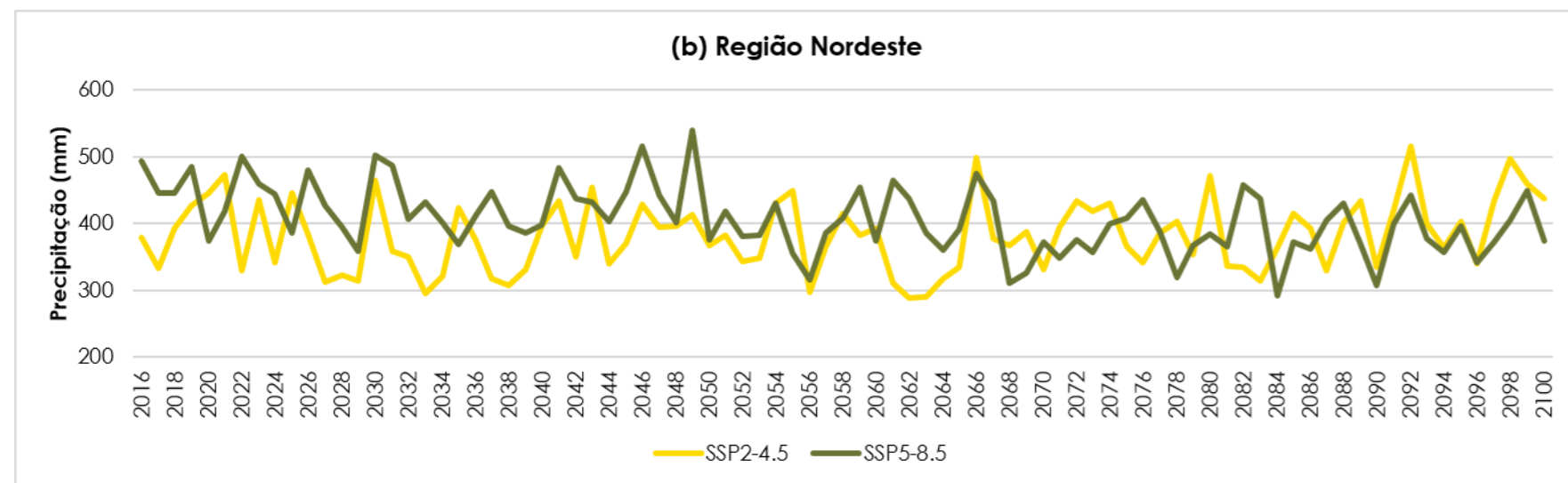
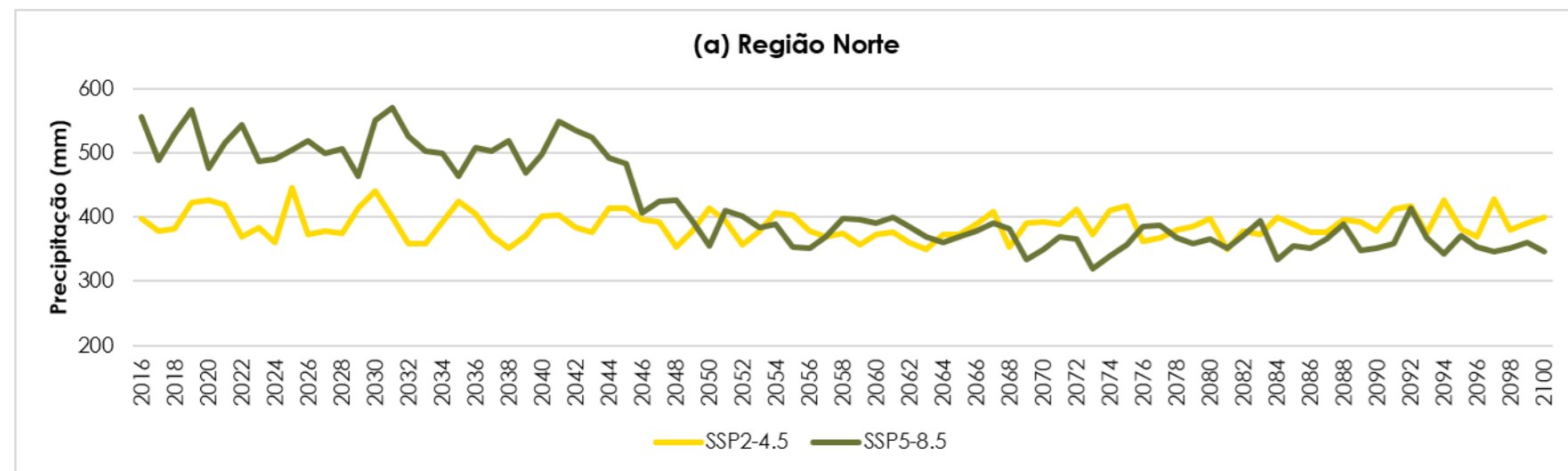


Fonte: Elaboração dos autores a partir de NEX-GDDP-CMIP6 (2021).

A Figura 10 mostra a evolução anual das estimativas futuras de precipitação acumulada apresentadas nos mapas das Figuras 7 e 8. A tendência de redução da precipitação é mais clara na região Norte, com aumento expressivo da variabilidade (o desvio padrão passa de 22,02 no cenário "intermediário" - SSP2-4.5 para 72,30 no "pessimista" - SSP5-8.5). No Nordeste, ambos os cenários também mostram grande variabilidade das chuvas, mas sem grandes diferenças entre os cenários (desvio padrão de 53,01 e 50,12, respectivamente). É importante ressaltar que, diferentemente da temperatura, há maior incerteza em relação às projeções de precipitação, ou seja, menor concordância entre os modelos e cenários (IPCC-AR6, 2021).

Os resultados aqui reportados são semelhantes aos que foram obtidos por Ballarin e colaboradores (2023), que analisaram os dados de 19 MCG disponíveis no CMIP6. Entre as conclusões desses autores para os biomas Amazônia e Caatinga – os principais das regiões aqui estudadas – destacam-se: (i) aumento nas temperaturas máximas e mínimas maior do que as projeções de elevação da temperatura média; o aumento percentual da temperatura máxima projetada é um pouco maior na Amazônia do que nos demais biomas; e (ii) redução da precipitação média em todas as estações do ano, mas com manutenção dos ciclos sazonais característicos de cada bioma. Para o bioma Mata Atlântica, Ballarin e colaboradores (2023) demonstraram que há expectativa de grande aumento da precipitação média nos meses de abril a julho, e redução entre agosto e setembro; há, também, projeções de aumento da temperatura, em especial a mínima (até 35% a mais, em relação ao presente, no cenário "pessimista" - SSP5-8.5).

Figura 10 - Precipitação acumulada an ual média (mm), cenários futuros



Fonte: Elaboração dos autores a partir de NEX-GDDP-CMIP6 (2021).

Os principais efeitos das mudanças climáticas para as regiões Norte e Nordeste reportados na literatura são resumidos no Quadro 1. A maior parte dos eventos elencados já vem sendo reportada em ambas as regiões e tende a se intensificar ao longo do século XXI, em especial no cenário "pessimista" - SSP5-8.5.

Quadro 1 - Principais efeitos esperados das mudanças climáticas nas regiões Norte e Nordeste reportados na literatura

Efeitos das alterações climáticas	Eventos relacionados
<ul style="list-style-type: none"> • Elevação da temperatura, sobretudo nos extremos (temperaturas máxima e mínima); • Aumento do número de dias muito quentes (acima de 35 °C), sobretudo no verão; • Mais ondas de calor; • Aumento da radiação solar (Norte); • Redução da precipitação média; • Maior variabilidade interanual da precipitação; • Maior número e frequência de dias secos consecutivos; • Redução do número de dias úmidos consecutivos; • Aumento da duração da estação seca 	<ul style="list-style-type: none"> • secas mais severas; • Mais evapotranspiração; • Altos riscos de incêndios florestais (Norte); • Maior risco de enchentes e inundações (Norte); • Intensificação do processo de desertificação no Nordeste (em especial em sua porção semiárida) e do risco de savanização da floresta Amazônica.

Fonte: Da Silva *et al.* (2018); Marengo *et al.* (2020); Avila-Diaz *et al.* (2020); Alves de Oliveira *et al.* (2021); IPCC-AR6 (2021).

Os impactos das mudanças do clima apresentados no Quadro 1 podem causar diversos choques negativos para a população, entre os quais destacam-se a redução da segurança hídrica e alimentar, bem como diversos problemas de saúde. Como consequência geral, compromete-se o desenvolvimento socioeconômico e humano, piorando as condições de vida regionais. Na próxima seção serão discutidas algumas dessas consequências a partir das expectativas de prejuízos à produção da agricultura familiar.

IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA AGRICULTURA FAMILIAR DAS REGIÕES NORTE E NORDESTE

2

Os impactos das mudanças climáticas na agricultura, em especial a redução ou estagnação da produtividade e o declínio da viabilidade de algumas variedades de culturas, têm sido bem documentados na literatura (MBOW *et al.*, 2019; IPCC-AR6, 2022). Entretanto, a maior parte dos estudos não leva em conta as atividades de pequenos produtores rurais ou da agricultura familiar (MBOW *et al.*, 2019). Em 2016, quando publicaram o relatório “Mudança do clima e os impactos na agricultura familiar no Norte e Nordeste do Brasil”, Machado Filho e colaboradores (2016, p. 64) ressaltaram que o grupo de trabalho sobre vulnerabilidade do IPCC-AR5 (2014), “a revisão mais abrangente sobre o assunto”, citava poucas pesquisas sobre esse importante grupo de agricultores.

A realidade mudou pouco desde então. Conforme reconhece o mais recente relatório do IPCC-AR6 (2022, p. 1762), “os impactos das mudanças climáticas sobre os grupos mais vulneráveis permanecem pouco estudados” e o foco das pesquisas continua sendo as principais *commodities* comercializadas globalmente (soja, milho, arroz e trigo). No caso da região Norte, ainda há dificuldade adicional, pois a maior parte das pesquisas sobre mudança climática está interessada nos efeitos – ecológicos e econômicos – do desmatamento, com pouca atenção à agricultura familiar.

Existe ampla e crescente literatura sobre os impactos das mudanças climáticas na agricultura brasileira. Embora haja grandes diferenças na modelagem e, conseqüentemente, incertezas sobre as magnitudes dos efeitos, essas pesquisas concordam que a agricultura brasileira será negativamente afetada. As culturas mais analisadas no Brasil também são as principais *commodities* da pauta de exportações do país, especialmente soja e milho, e praticamente não há diferenciação de tipos de agricultores. Ainda que o foco dessas pesquisas não seja a agricultura familiar, elas são importantes para demonstrar que

“as mudanças climáticas aumentarão as disparidades regionais entre os estados e municípios brasileiros, porque as áreas mais afetadas são aquelas que já apresentam os menores níveis de produtividade agrícola”
(ASSUNÇÃO; CHEIN, 2016, p. 598).

O estudo de Nazareth, Cunha e Gurgel (2020), por exemplo, demonstra como as regiões brasileiras podem ser afetadas de modo distinto, acentuando as disparidades socioeconômicas já existentes. A partir de choques de produtividade agrícola resultantes das mudanças climáticas, os autores simularam a trajetória do Produto Interno Bruto (PIB) regional até 2050 (Figura 11). Os resultados confirmam que o Norte e o Nordeste sofrerão grandes impactos, ao passo que o Sul pode até se beneficiar.

Figura 11 - Variação percentual do PIB das regiões brasileiras como resultado de queda da produtividade agrícola em cenários de mudanças climáticas, 2025-2050



Fonte: Elaborado pelos autores com base nos resultados de Nazareth, Cunha e Gurgel (2020).

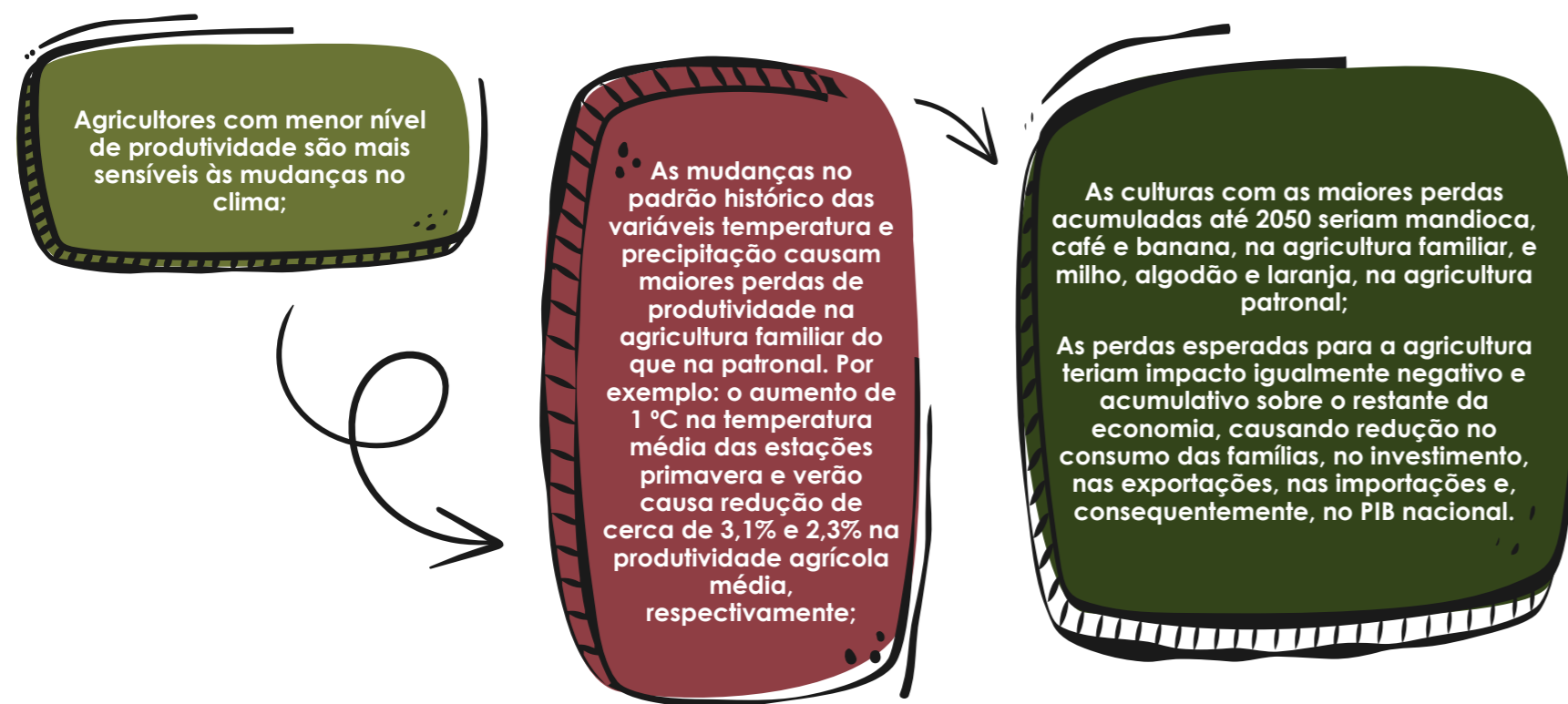
Santos, Oliveira e Ferreira-Filho (2022, p. 19) apresentam conclusões semelhantes, ou seja, confirmam que “as perdas serão maiores para aquelas regiões cujas economias são mais dependentes da agricultura na composição do valor de sua produção”. Os autores também concluíram que trabalhadores pobres, e os grupos de baixa renda mais dependentes da agricultura em geral, terão perdas de consumo e, conseqüentemente, de bem-estar mais expressivas, principalmente no Nordeste e no Centro-Oeste. Tratando especificamente da Amazônia Legal, Tanure e colaboradores (2020) demonstraram que os estados de Mato Grosso, Tocantins, Pará e Maranhão poderão ter as maiores quedas no PIB resultantes das perdas agrícolas causadas pelas mudanças do clima até 2050.

Partindo do conceito de vulnerabilidade como a “propensão ou predisposição de um sistema a ser adversamente afetado” pelas mudanças climáticas, Santos e colaboradores (2023, p. 3) concluíram que os agricultores das regiões Norte e Nordeste são os mais vulneráveis do país. Os autores identificaram que há correlação positiva entre o percentual municipal de agricultores familiares e o grau de vulnerabilidade. O IPCC-AR6 (2022, p. 2422) explica que isso ocorre porque “os riscos climáticos são fortemente relacionados com desigualdades multidimensionais (...), as quais resultam de aspectos econômicos, políticos e socioculturais”. Trata-se de uma visão de “vulnerabilidade contextual” (IWAMA *et al.*, 2016), ou seja, os efeitos da exposição aos riscos climáticos dos agricultores familiares do Norte e do Nordeste são aprofundados devido à sua baixa capacidade adaptativa.

Os estudos de Tanure, Domingues e Magalhães (2023; 2024) apresentam um panorama bastante detalhado dos impactos das mudanças climáticas na agricultura familiar brasileira, bem como das regiões Norte e Nordeste. Diferentemente da maior parte das pesquisas que tratam do Brasil, cujo foco são apenas as principais *commodities* para exportação, sem distinção do tipo de produtor, os autores supramencionados consideram um grande conjunto de atividades agrícolas, que representam a diversidade da produção nacional, e o desagregaram em agricultura familiar e patronal.

O modelo desenvolvido pelos autores contém: (i) produção agrícola (desagregada em arroz, trigo e cereais, milho, algodão, cana-de-açúcar, soja, mandioca, folha de fumo, tomate, batata, cebola, amendoim, abacaxi, banana, feijão, castanha de caju, uva, laranja, café e outras culturas permanentes e temporárias); e (ii) pecuária, (iii) silvicultura e (iv) extrativismo. As mudanças do clima foram representadas por dois cenários do IPCC-AR5 (2013) – RCP 4.5 (“intermediário”) e RCP 8.5 (“pessimista”) – com simulações de choques de produtividade e impactos macroeconômicos para o período de 2021 a 2050.

Entre as principais conclusões de Tanure, Domingues e Magalhães (2023; 2024) para o Brasil, como um todo, destacam-se:



Considerando especificamente as regiões Norte e Nordeste, Tanure, Domingues e Magalhães (2024) concluem que:

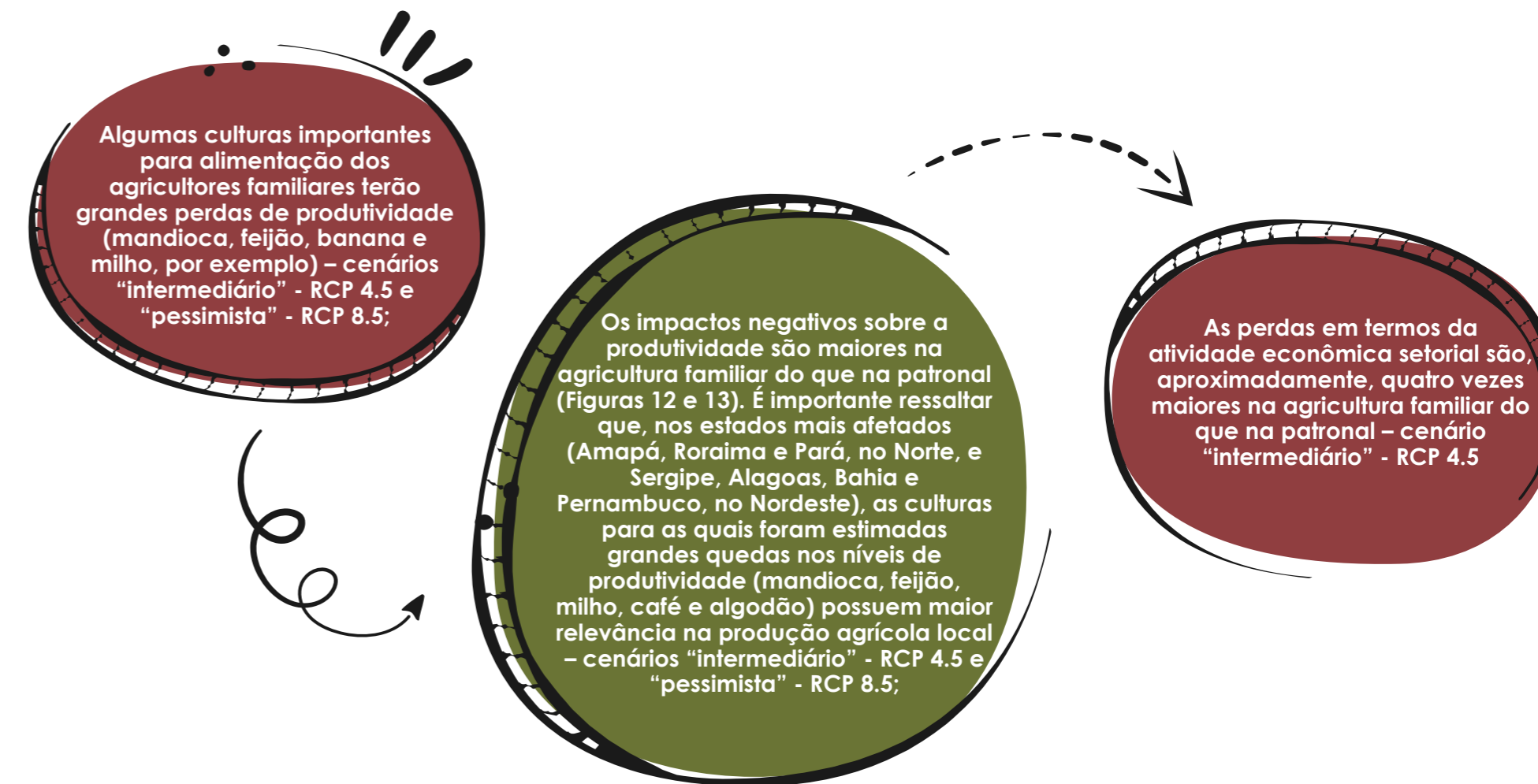
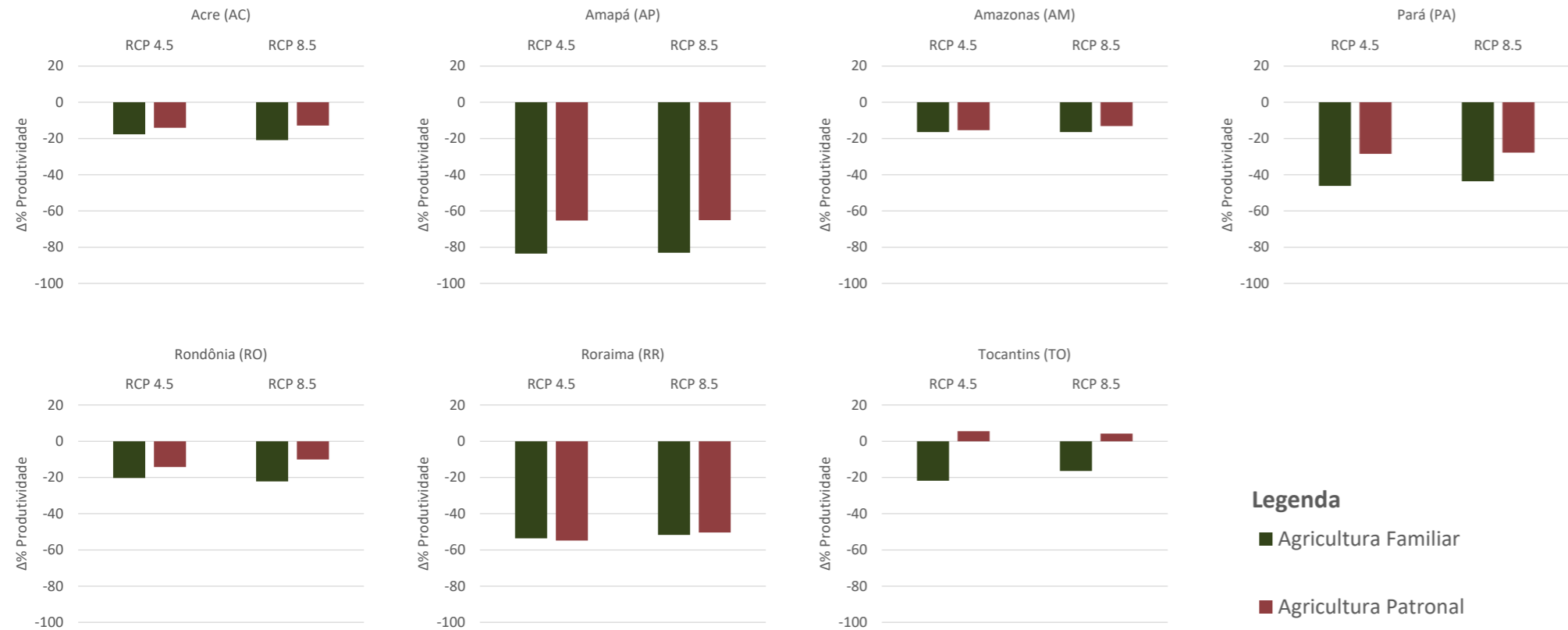


Figura 12 - Impactos das mudanças climáticas sobre a produtividade da agricultura familiar e patronal nos estados da região Norte



Fonte: Elaboração dos autores a partir dos resultados de Tanure, Domingues e Magalhães (2024).

Figura 13 - Impactos das mudanças climáticas sobre a produtividade da agricultura familiar e patronal nos estados da região Nordeste



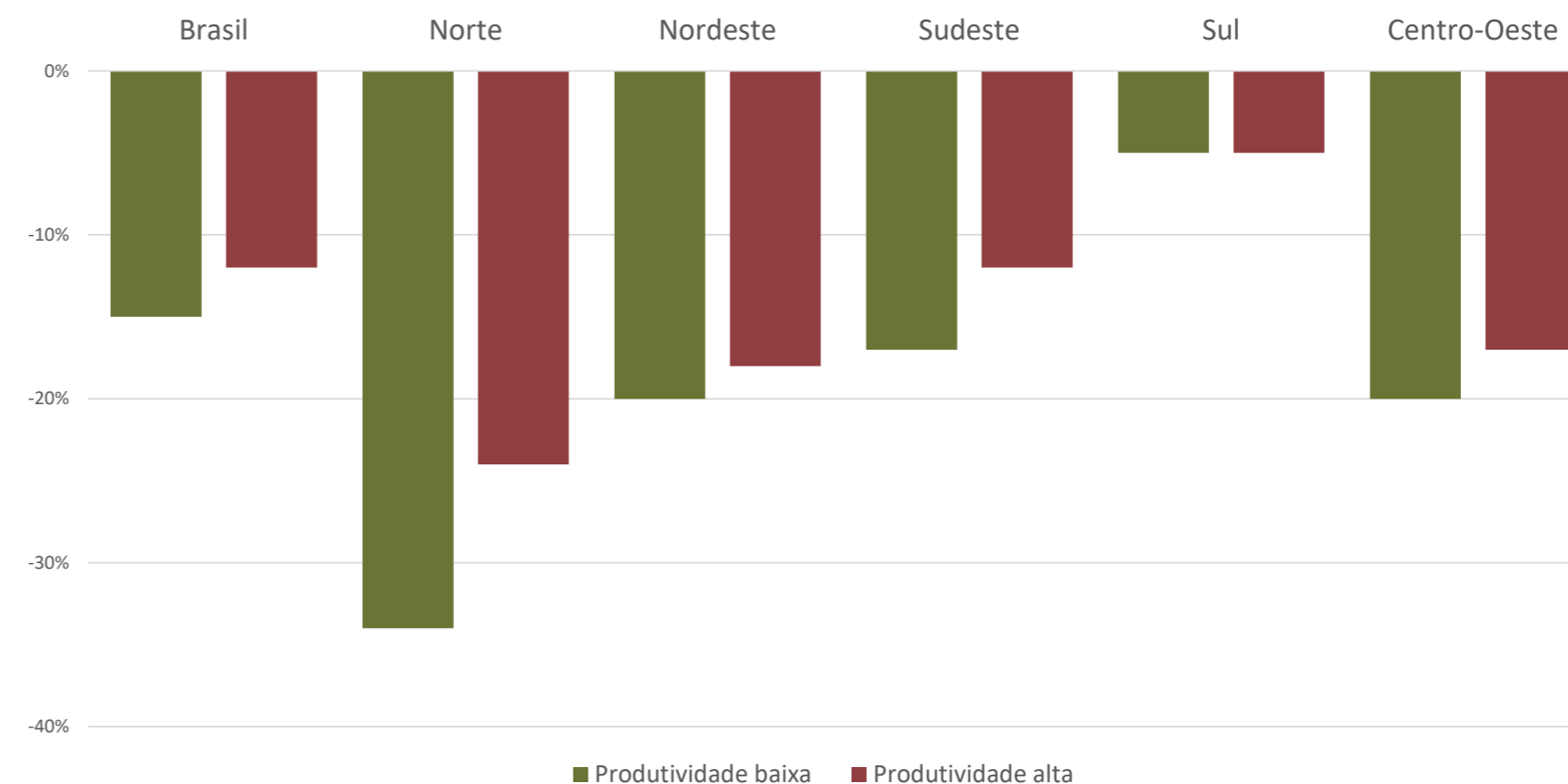
Fonte: Elaboração dos autores a partir dos resultados de Tanure, Domingues e Magalhães (2024).

DePaula (2018) estudou o efeito das mudanças no padrão histórico de temperatura e precipitação (1960-1990 e 1996-2006) sobre a agricultura comercial brasileira (incluindo os estabelecimentos da agricultura familiar)⁴, com análises desagregadas para diferentes categorias de valores da terra e níveis de produtividade (sem separação por culturas). Os resultados indicam que um aumento de 1°C na temperatura média gera perdas de até 20% à agricultura nacional; esse efeito é bastante diverso entre as regiões, sendo que o Norte e o Nordeste são mais prejudicados do que a média nacional. Uma das conclusões mais importantes do autor indica que quanto menores são os **níveis de produtividade agrícola**, mais intensos são os efeitos negativos das mudanças climáticas (Figura 14). Esse resultado é semelhante ao que foi identificado por Tanure, Domingues e Magalhães (2023, 2024). Segundo DePaula,

“o efeito de um aumento de 1°C na temperatura média (...) resulta em perda produtiva que varia de -5% para os agricultores mais produtivos localizados na região mais fria do Sul a -34% para os agricultores menos produtivos localizados na região mais quente do Norte” (DEPAULA, 2018, p. 33).

⁴ Segundo o autor, foram incluídos em sua análise todos os estabelecimentos agrícolas com receita bruta superior a R\$36.000 (valor referente ao Censo Agropecuário de 2006). Não é possível saber o número exato (ou a proporção) de estabelecimentos da agricultura familiar incluídos na amostra. Contudo, dados do IBGE (2006) indicam que 615 municípios possuíam estabelecimentos da agricultura familiar com receita bruta média igual ou superior ao limite estabelecido pelo autor (11% desses municípios estão localizados nas regiões Norte e Nordeste).

Figura 14 - Impactos do aumento da temperatura média sobre a agricultura brasileira e grandes regiões



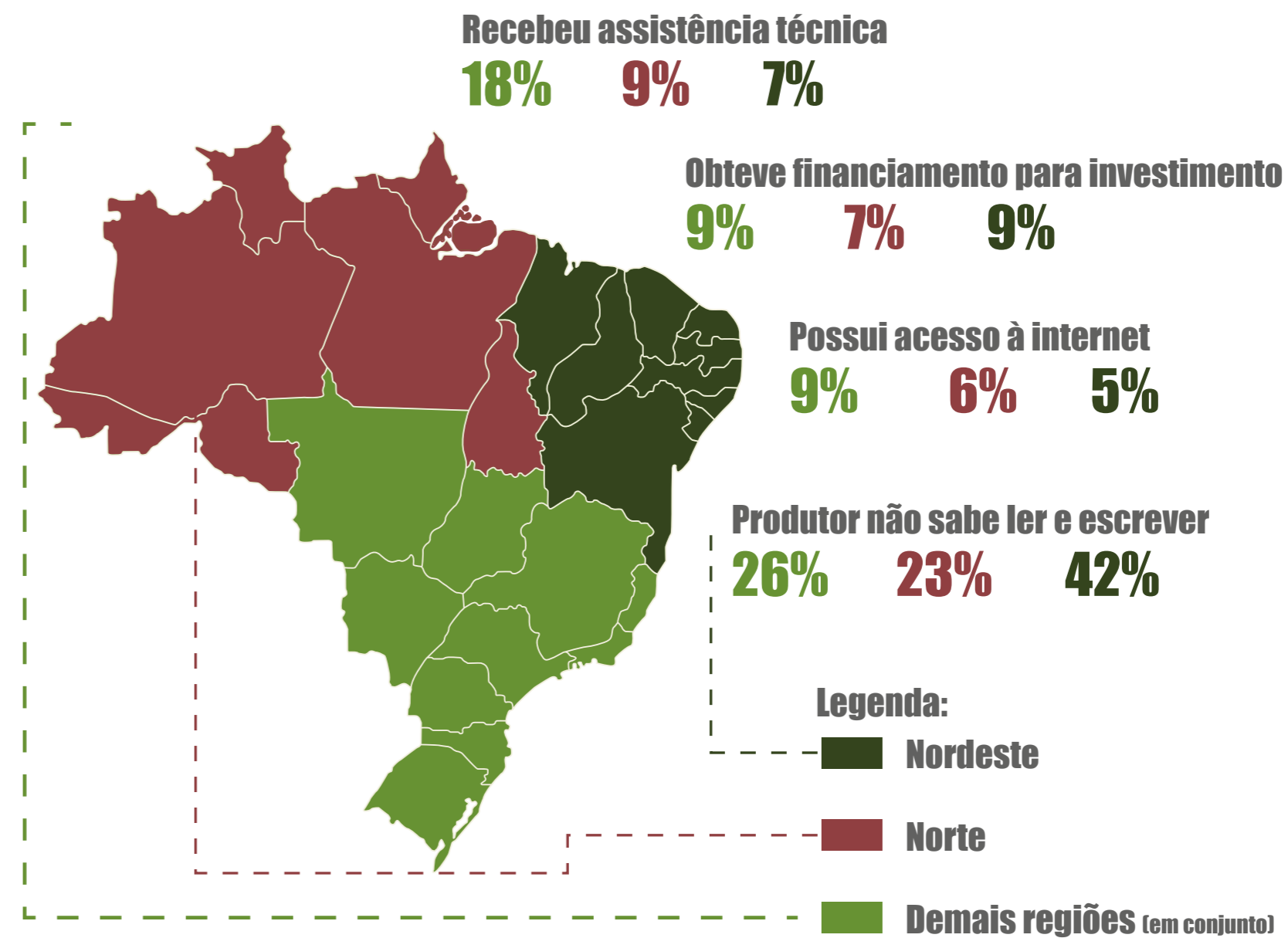
Fonte: Elaboração própria a partir dos resultados de DePaula (2018).

A consequência direta dos resultados de DePaula (2018) é o aprofundamento da desigualdade entre os produtores menos e mais produtivos, em especial no Norte e no Nordeste. No Brasil como um todo, e sobretudo nessas regiões, a produtividade da agricultura familiar é mais baixa em relação à agricultura patronal em diversas culturas. Esse fato gera um “gap tecnológico” entre os dois tipos de produtores (PEREIRA; CASTRO, 2022) e, conseqüentemente, intensifica as dificuldades do setor familiar e tornam as regiões um “hotspot” de vulnerabilidade às mudanças climáticas (GORI MAIA *et al.*, 2018).

A menor produtividade da agricultura familiar está relacionada, entre outros fatores, à dificuldade que o setor enfrenta de investir e utilizar mais intensamente as **inovações tecnológicas agrícolas** (PEREIRA; CASTRO, 2022). Segundo Buainain, Cavalcante e Consoline (2021, p. 9), “nas últimas décadas o principal determinante da dinâmica produtiva e da reprodução das desigualdades foi a capacidade de absorção tecnológica, ou seja, de inovação em geral”. Esses autores também ressaltam que “as dificuldades e obstáculos enfrentados pelos agricultores familiares estão localizados no âmbito das condições de inovação” (*Ibidem*, p. 10, grifo nosso).

Entre as principais barreiras à adoção de inovações tecnológicas destacam-se o baixo acesso da agricultura familiar: (i) aos serviços de assistência técnica e extensão rural; (ii) ao crédito agrícola para investimento em novas tecnologias; e (iii) à informação climática. Algumas variáveis representativas dessas três categorias são apresentadas na Figura 15, que permite comparar os valores médios do Brasil com as regiões Norte e Nordeste.

Figura 15 - Variáveis representativas de barreiras à adoção de inovações tecnológicas pela agricultura familiar



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do Censo Agropecuário 2017 (IBGE, 2019).

Segundo o IPCC (2022, p. 1737),

“os serviços de informações climáticas têm um importante papel na adaptação às mudanças climáticas, mas existe uma lacuna reconhecida entre a ciência climática e os agricultores”.

As informações da Figura 15 demonstram que ainda há muitas barreiras para o acesso a informações climáticas que poderiam reduzir a vulnerabilidade dos agricultores familiares do Norte e do Nordeste. Sobre isso, Jones (2022) explica que, no Brasil, há grande volume de informações sobre as mudanças climáticas que, se conhecidas antecipadamente pelos cidadãos, poderiam evitar ou reduzir prejuízos. Mas, para isso, é necessário que as dificuldades de acesso a esse conhecimento sejam superadas por meio do trabalho com as comunidades afetadas, em especial as mais remotas, oferecendo informações climáticas relevantes para as decisões dos pequenos proprietários e agricultores familiares (IPCC, 2022).

Ainda com relação à informação, Zabaniotou e colaboradores (2020, p. 7) destacam que “a percepção das mudanças pelas comunidades locais é importante para a análise de risco e para a subsequente tomada de decisão social”, o que poderia minimizar as perdas. Assim, além de fazer com que o conhecimento acadêmico sobre mudanças climáticas chegue às comunidades, é preciso compreender os conhecimentos tradicionais e como os agricultores percebem os riscos. O conhecimento local representa uma fonte muito rica de informações, que pode tornar ainda mais completa a base de evidências científicas.

Impactos das mudanças climáticas em atividades agropecuárias importantes para a agricultura familiar/segurança alimentar

De modo geral, a literatura indica que algumas atividades importantes para a segurança alimentar de agricultores familiares do Norte e Nordeste (mandioca, milho, feijão e a pecuária extensiva) serão bastante afetadas pelas mudanças do clima. Alguns dos principais estudos e resultados são destacados a seguir.

- Tanure et al. (2020) identificaram que todas as mesorregiões que formam os estados da Amazônia Legal terão redução na produção de mandioca até 2050 (Maranhão, Tocantins, Pará e Mato Grosso serão os mais afetados). Os autores também estimaram a possibilidade de grandes perdas futuras na produção de milho, sendo que as maiores reduções serão no Pará, Maranhão e Tocantins.
- Os resultados de Vale e colaboradores (2020) indicam que no estado do Rio Grande do Norte, quanto maiores são os déficits de precipitação, mais prejudicada é a produtividade de milho, feijão e mandioca.
- Martins, Tomasella e Dias (2019) estimaram grandes reduções na produtividade de milho produzido no sistema de sequeiro na região Nordeste. As perdas podem variar de 30% antes de 2070, no cenário menos pessimista, a 60% entre 2071 a 2099, no cenário mais pessimista. As autoras identificaram ainda que a irrigação poderia amenizar as perdas resultantes do estresse hídrico, mas ainda assim os extremos de temperatura teriam consideráveis impactos negativos na produtividade.
- Martins, Hochrainer-Stigler e Pflug (2017) analisaram os riscos de redução de produtividade de milho e feijão para diferentes tipos de solo e probabilidades de estresse hídrico (medido pelo número anual de dias com precipitação abaixo de 1mm no período de 2005 a 2012) em municípios da região Nordeste e da porção semiárida de Minas Gerais. Os resultados mostram que as perdas de produtividade podem variar de 75% a 92% para o milho e de 69% a 88% para o feijão. Segundo os autores, as produtividades resultantes após as perdas esperadas, para ambas as culturas, “seriam insuficientes para alimentar as famílias que dependem dessa produção para a sua subsistência” (MARTINS; HOCHRAINER-STIGLER; PFLUG, 2017, p. 11). Os estados com maiores riscos de perdas seriam Ceará, Piauí, Pernambuco e Paraíba. Os efeitos negativos tendem a se intensificar conforme as projeções futuras de dias secos previstas pelo IPCC-AR5 (2013).
- Assad e colaboradores (2016) estimaram que os aumentos da temperatura e da deficiência hídrica e a intensificação dos veranicos previstos pelos cenários do IPCC-AR5 (2013) poderão levar a grandes reduções das áreas de baixo risco de cultivo de milho e feijão em toda a região Nordeste*.
- Gori Maia e colaboradores (2018) concluíram que os aumentos de temperatura e os episódios de seca no período de 1974 a 2014 reduziram a produtividade da pecuária (leite e carne de bovinos, ovinos e caprinos) de agricultores familiares do Semiárido brasileiro. A redução histórica da precipitação teve mais efeitos negativos sobre a pecuária de leite familiar, sendo que o impacto se torna maior quanto mais pobre é o agricultor. De acordo com os autores, a pecuária familiar da região é mais vulnerável, pois tem menos condições financeiras de se proteger investindo, por exemplo, na “substituição da pastagem natural por outras forrageiras (silagem) conforme a necessidade em condições climáticas mais extremas” (MAIA et al., 2018, p. 747).

* Assad e colaboradores (2016) também fizeram estimativas para as demais regiões brasileiras e para outras culturas além de milho e feijão (soja, trigo e arroz).

As pesquisas revisadas até aqui são bastante elucidativas sobre os impactos das mudanças climáticas na agricultura familiar das regiões Norte e Nordeste. Entretanto, acredita-se que seja importante fazer uma revisão de estudos que tenham analisado essa problemática com outros recortes espaciais. A seguir serão considerados estudos específicos para o Bioma Amazônico e para a região do Semiárido brasileiro. Como as populações não são uniformemente vulneráveis às mudanças climáticas (THOMAS *et al.*, 2019), análises desagregadas e local-específicas podem oferecer mais elementos para pensar estratégias de enfrentamento e de aumento da resiliência da agricultura familiar regional.

Bioma Amazônico

Eventos extremos, como temperaturas muito elevadas, inundações, secas e grandes vazantes, têm se tornado mais frequentes e intensos na Amazônia nas últimas décadas, causando diversos prejuízos à fauna, à flora, à população e à infraestrutura local (BRONDIZIO; MORAN, 2008; OSUNA; BÖRNER; CUNHA, 2014; MARENGO; ESPINOZA, 2016, ALMUDI; SINCLAIR, 2022). Segundo Vasconcelos e colaboradores (2022, p. 1), “as mudanças climáticas expõem os trabalhadores a condições ambientais extremas, que em resposta vêm modificando seus modos de vida, como o trabalho na agricultura e na pesca, e suas atividades sociais, como o lazer”. Logo, o aumento dos riscos de incêndio, perdas de safra e menor produtividade, bem como a redução da janela temporal disponível para plantio e a consequente necessidade de realizar a colheita antes do prazo de maturação, as dificuldades de pescar e a mortalidade de peixes são alguns dos principais problemas enfrentados pela agricultura familiar reportados na literatura (ÁVILA *et al.*, 2021; VASCONCELOS *et al.*, 2022).

Conforme explicam Almudi e Sinclair (2022, p. 4), nas comunidades que vivem na região do bioma amazônico, “os meios de subsistência envolvem várias combinações de agricultura familiar de pequena escala e pecuária, pesca e extração de madeira e produtos florestais não madeireiros”. Dessa forma, a fonte de sustento principal é determinante para a vulnerabilidade das famílias, ou seja, agricultores e pecuaristas são mais prejudicados pelas inundações, ao passo que pescadores sofrem mais com as secas. O local

de moradia igualmente determina o impacto negativo; por exemplo, “comunidades ribeirinhas (...) são altamente vulneráveis (...), pois os ciclos hidroclimáticos sazonais regem seu cotidiano, integram seu modo de vida ao meio ambiente e determinam a organização dos calendários sociais e agrícolas” (VASCONCELOS *et al.*, 2022, p. 1); por sua vez, “famílias localizadas em áreas baixas de várzea são as mais expostas a inundações extremas” (ALMUDI; SINCLAIR, 2022, p. 8).

Lapola e colaboradores (2020) identificaram que o bioma amazônico possui a maior extensão territorial em áreas protegidas (unidades de conservação, mosaicos e corredores ecológicos) com alto índice de vulnerabilidade às mudanças climáticas. Como grande parte dessas áreas é manejada por comunidades indígenas, pode-se afirmar que sua qualidade de vida, segurança alimentar e conhecimentos tradicionais estão altamente ameaçados pelas alterações do clima. De acordo com o IPCC-AR6 (2022), para enfrentar riscos como os que foram identificados por Lapola e colaboradores (2020), os povos originários e outras comunidades tradicionais precisam ser apoiados por políticas climáticas que garantam maior capacidade adaptativa, as quais devem respeitar as especificidades de seus modos de viver e produzir.

Em associação com as mudanças climáticas, outros problemas enfrentados pelas comunidades amazônicas são o desmatamento e a degradação florestal (BERENGUER *et al.*, 2021)⁵. Além de diversos impactos ecológicos, há múltiplos efeitos socioeconômicos cuja gravidade é sentida de modo mais intenso pelos agricultores familiares e comunidades tradicionais da região. Os principais são destacados por Lapola e colaboradores (2023): menor disponibilidade de espécies da flora e de animais para caça, bem como de peixes, que contribuem para a alimentação ou produção de medicamentos naturais; redução da oferta de recursos florestais; e aumento da exposição a vetores de doenças.

⁵ Mudanças climáticas, desmatamento e degradação florestal são fenômenos intrinsecamente associados, que possuem relações de causa e efeito que se retroalimentam. Foge ao escopo deste estudo avançar na discussão, porém, o leitor interessado encontra ampla literatura sobre o tema. Sugere-se, a princípio, as pesquisas de Berenguer *et al.* (2021) e Lapola *et al.* (2023).

Insegurança alimentar, desnutrição e outros problemas de saúde são alguns dos principais efeitos diretos da piora das condições socioeconômicas associadas às mudanças climáticas, desmatamento, degradação florestal e eventos extremos no bioma amazônico. Pode-se falar, ainda, em casos de conflito e violência, desorganização do trabalho coletivo e isolamento de comunidades – esses últimos com impactos diretos no acesso à escola pelas crianças e ao mercado pelos agricultores. Há também impactos em termos das “dimensões relacionais e subjetivas da vida das pessoas, que fazem contribuições importantes para o bem-estar humano” (LAPOLA *et al.*, 2023, p. 7). Todas essas adversidades no meio rural têm potencial de agravar as condições socioeconômicas das cidades devido aos processos migratórios intra e intermunicipal (LAPOLA *et al.*, 2018; LAPOLA *et al.*, 2023).

Segundo Pinho e colaboradores (2020, p. 237), as mudanças climáticas tendem a gerar “fluxos migratórios (...) na Amazônia até 2030, com altos custos sociais, uma vez que migrantes terminam por ocupar espaços marginais e empregos precários nas grandes cidades, como Manaus e Boa Vista”. Gori Maia e Schons (2020) identificaram que mudanças ambientais, caracterizadas pelos autores como aumento do desmatamento, variações nos padrões históricos de temperatura e precipitação, bem como eventos climáticos extremos, têm potencial de levar ao deslocamento de agricultores familiares tanto para áreas urbanas quanto para outras áreas rurais. Almudi e Sinclair (2022) ressaltam que, embora esses deslocamentos aconteçam em busca de melhores condições de vida ou de produção agrícola, em geral, eles tendem a agravar ainda mais a vulnerabilidade das famílias migrantes.



Semiárido

O Semiárido brasileiro possui características biofísicas, demográficas e socioeconômicas bastante peculiares: enfrenta recorrentes episódios de seca, irregularidade da precipitação, altas temperaturas e extremos de calor; é a região semiárida com a maior densidade populacional do planeta e a que enfrenta as condições mais críticas de insegurança alimentar no país; a maior parte da população rural é muito pobre e dependente da agricultura familiar e/ou de autoconsumo, praticada, quase que na totalidade, sem irrigação e com poucos recursos tecnológicos (MARTINS; HOCHRAINER-STIGLER; PFLUG, 2017; MARTINS; TOMASELLA; DIAS, 2019; MARENCO *et al.*, 2022).

Assim como na região amazônica, os recursos naturais estão diretamente ligados à qualidade de vida no meio rural do Semiárido brasileiro. A (in)disponibilidade de água é preponderante, tanto para o consumo humano, nas atividades domésticas cotidianas básicas, quanto para a produção agrícola. Historicamente, a população rural vem se adaptando à escassez hídrica por meio de “tecnologias tradicionais de captação de água da chuva”, tais como “captação e armazenando do escoamento superficial em barragens a céu aberto” ou “poços rasos escavados no leito seco de rios e córregos” (LINDOSO *et al.*, 2018, p. 1). A agricultura familiar, cuja produção é predominantemente de sequeiro, sofre com diversas dificuldades no acesso à água, seja pelas longas distâncias até o recurso, seja pela restrição à entrada em propriedades de terceiros ou pela falta de condições financeiras para investir em sistemas de captação de águas subterrâneas (LINDOSO *et al.*, 2018; MARTINS; TOMASELLA; DIAS, 2019; MARENCO *et al.*, 2022).

As pesquisas de Lindoso e colaboradores (2014; 2018), Herwehe e Scott (2018), Dobkowitz e colaboradores (2020), e Dantas, Silva e Santos (2020) permitem concluir que a dificuldade e a má distribuição do acesso à água são determinantes na explicação da vulnerabilidade às mudanças climáticas dos agricultores familiares do Semiárido. Os recorrentes episódios de seca contribuem para a baixa disponibilidade de água na região. Entre 2011 e 2017, o Nordeste passou pela seca “mais intensa em termos de duração, gravidade

e recorrência pelo menos nos últimos 30 anos” (CUNHA *et al.*, 2019b, p. 7). Nesse período, intensificou-se a insegurança hídrica e, conseqüentemente, a alimentar no Semiárido. Segundo Cunha e colaboradores (2019a), aproximadamente seis milhões de pequenos agricultores perderam suas safras.

Outro problema que aumenta a vulnerabilidade da agricultura familiar do Semiárido é a desertificação. Trata-se de um fenômeno complexo, cujas causas envolvem interações de variáveis biofísicas, socioeconômicas e demográficas e que pode ser acelerado pelas mudanças climáticas projetadas (VIEIRA *et al.*, 2021). Segundo Angelotti e Giongo (2019, p. 446), “o aumento de temperatura e a tendência à estiagem (...) intensificam a aridez na região semiárida, o que tem impacto direto no processo de desertificação”. Dependendo do cenário climático considerado, as áreas com alta suscetibilidade à desertificação podem aumentar entre 12,3% (RCP 4.5) e 19,6% até 2045 (RCP 8.5). A combinação das expectativas de elevados riscos de seca e o aumento da desertificação e de mais extremos de calor (aquecimento acima de 4 °C, como mostra a Figura 8) podem comprometer as atividades agropecuárias, sobretudo de agricultores familiares, além de desorganizar os mercados locais e regionais de alimentos (MARENGO *et al.*, 2020; PINHO *et al.*, 2020).

Como os cenários de mudança climática do IPCC-AR6 (2021) estimam redução da precipitação média e aumento de sua variabilidade sazonal e espacial, bem como maior frequência e intensidade das secas, os riscos para a agricultura familiar aumentam. Tais alterações climáticas podem levar a perdas de safra e grandes reduções da produtividade das principais culturas produzidas pela agricultura familiar, tais como milho, feijão e mandioca (MARTINS; HOCHRAINER-STIGLER; PFLUG, 2017; MARTINS; TOMASELLA; DIAS 2019; VALE *et al.*, 2020; MARENGO *et al.*, 2022; TANURE; DOMINGUES; MAGALHÃES, 2024). A pequena pecuária extensiva será igualmente afetada, já que os rebanhos de bovinos, caprinos e ovinos demandam grandes quantidades diárias de água para sua sobrevivência (LINDOSO *et al.*, 2018).

As perdas de safra implicam em menor disponibilidade de alimentos para as famílias, cuja subsistência está diretamente ligada à produção agropecuária. A renda é igualmente reduzida, levando a outros problemas, como dificuldades para a compra de sementes e insumos agrícolas e aumento de dívidas (MARTINS; HOCHRAINER-STIGLER; PFLUG, 2017). Há, nesse ínterim, conseqüente comprometimento da segurança alimentar e da saúde dos agricultores. De modo geral, “nas regiões com maior concentração de agricultura de subsistência (...), perdas de produtividade podem levar ao aumento da pobreza, conflitos por terra e migração em massa para centros urbanos já bastante povoados” (MARENGO *et al.*, 2022, p. 2).

Tratando especificamente da possibilidade de aumento dos fluxos migratórios, o IPCC-AR6 (2022) atesta que a migração rural-urbana em regiões empobrecidas do Semiárido (e também da região Norte do país) está relacionada à fome e à insegurança alimentar resultantes das mudanças climáticas. Delazeri, Da Cunha e Oliveira (2022) e Delazeri e colaboradores (2022) explicam que, no Semiárido, a migração é encarada como uma “última alternativa”, ou seja, a população só deixa as áreas rurais em direção às cidades após tentarem outras possibilidades de lidar com a exposição às alterações do clima e eventos extremos. Também segundo esses autores, “as respostas migratórias às alterações climáticas dependem da capacidade financeira para implementar a emigração” (DELAZERI; DA CUNHA; OLIVEIRA, 2022, p. 2169). Desse modo, agricultores muito pobres e bastante afetados pela mudança climática não conseguem sequer pagar os custos da migração. Em outras palavras, no Semiárido “os efeitos adversos das mudanças climáticas podem resultar na manutenção da população nas áreas rurais em situação de pobreza persistente” (DELAZERI *et al.*, 2022, p. 82).



Grupos mais vulneráveis

Embora tenha o trabalho da família como característica comum, a agricultura familiar brasileira é muito diversa e, por isso, diferentes níveis de vulnerabilidade às mudanças climáticas são observados. Povos tradicionais, como indígenas, quilombolas e ribeirinhos e, em especial, as mulheres responsáveis pelas propriedades, costumam apresentar maior grau de vulnerabilidade. Em geral, isso é explicado pela menor capacidade adaptativa e falta de políticas públicas voltadas a esses grupos. Muitas vezes, a falta de pesquisas específicas também contribui para os riscos mais elevados, já que quanto menos se sabe, menores as chances de desenvolver opções adequadas de enfrentamento às mudanças climáticas.

As comunidades tradicionais (indígenas, quilombolas e ribeirinhos e outras que se reconhecem como tal) “ocupam e usam territórios e recursos naturais como condição para sua reprodução cultural, social, religiosa, ancestral e econômica” (BRASIL, 2007). Sua sobrevivência está diretamente associada aos recursos naturais. Por essa razão, diversos riscos internos e externos, em associação com as mudanças do clima, ameaçam esses grupos. No caso de comunidades quilombolas, Cherol, Ferreira e Sales-Costa (2021) identificaram altos índices de insegurança alimentar, em especial nas regiões mais pobres do Norte e Nordeste. Esses casos podem se agravar com as perdas agrícolas resultantes das mudanças do clima. Vasconcelos e colaboradores (2022, p. 1) argumentam que as mudanças climáticas causam alterações nos ciclos hidroclimáticos que “determinam a organização dos calendários sociais e agrícolas”, desarticulando o cotidiano de comunidades ribeirinhas.

Povos indígenas, em especial da Amazônia brasileira, sofrem dificuldades e riscos semelhantes, os quais são intensificados por desmatamento e degradação da floresta, incêndios e atividades econômicas legais e ilegais, como extração de madeira, mineração, agricultura e pecuária (RORATO et al., 2022). As mulheres, provenientes ou não dos povos tradicionais, além de serem a maioria da população pobre, “enfrentam barreiras sociais, culturais, econômicas e políticas que limitam sua capacidade de resposta” às mudanças climáticas (ZABANIOTOU et al., 2020, p. 8).

De acordo com a ONU-Mulheres (2022), a agricultura é a atividade econômica mais importante para mulheres e meninas em regiões de baixa renda, sobretudo na área rural. Apesar de serem as principais responsáveis pela segurança alimentar e hídrica do lar, as mulheres têm muito menos acesso aos recursos naturais e financeiros. Dessa forma, a desigualdade de gênero no âmbito da crise climática é um dos maiores desafios do presente (ONU-Mulheres, 2022).



AUMENTO DA RESILIÊNCIA E MITIGAÇÃO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA AGRICULTURA FAMILIAR

3

Nas seções anteriores foram apresentados cenários futuros de mudança climática e seus principais impactos sobre os meios de subsistência e a qualidade de vida de agricultores familiares das regiões Norte e Nordeste do Brasil. Em resumo, pode-se afirmar que a maior vulnerabilidade desse grupo advém de sua baixa capacidade adaptativa, a qual está associada a condições de pobreza e falta de acesso a (ou inexistência de) políticas públicas específicas. Portanto, nessa seção serão apresentadas algumas estratégias que podem contribuir para aumentar a resiliência dos agricultores, tornando-os menos sensíveis aos riscos esperados. Ao mesmo tempo, é possível desenvolver estratégias que promovam sinergias entre o aumento da capacidade adaptativa dos agricultores e a mitigação das emissões de GEE em suas atividades produtivas⁶.

Em conjunto, as ações descritas nesta seção podem contribuir para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, em especial o ODS 2, que visa a “acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável” (ONU-Brasil, 2023). E isso gera sinergias com o ODS 13, cujo objetivo é “adotar medidas urgentes para combater as alterações climáticas e os seus impactos”. Entre as metas do ODS 2 destacam-se:

⁶ É importante enfatizar que a apresentação será baseada em ações adequadas às condições edafoclimáticas regionais e às práticas culturais dos agricultores.



Até 2030, dobrar a produtividade agrícola e a renda dos pequenos produtores de alimentos, particularmente das mulheres, povos indígenas, agricultores familiares, pastores e pescadores, inclusive por meio de acesso seguro e igual à terra, outros recursos produtivos e insumos, conhecimento, serviços financeiros, mercados e oportunidades de agregação de valor e de emprego não agrícola; até 2030, garantir sistemas sustentáveis de produção de alimentos e implementar práticas agrícolas resilientes, que aumentem a produtividade e a produção, que ajudem a manter os ecossistemas, que fortaleçam a capacidade de adaptação às mudanças climáticas, às condições meteorológicas extremas, secas, inundações e outros desastres, e que melhorem progressivamente a qualidade da terra e do solo (ONU-Brasil, 2023).

Inicialmente, é importante tratar do conhecimento e da percepção das mudanças climáticas por parte dos agricultores. Embora a produção científica sobre o tema quase nunca chegue até as comunidades mais isoladas e afetadas, deve-se reconhecer que os agricultores possuem suas próprias maneiras de perceber as mudanças do clima regional e seus riscos e, por conseguinte, de buscar alternativas de adaptação. Estudos realizados em comunidades amazônicas e do Semiárido nordestino (FUNATSU *et al.*, 2019; MAGALHÃES *et al.*, 2021; ÁVILA *et al.*, 2021; ALMUDI; SINCLAIR, 2022; MAGALHÃES *et al.*, 2022; VASCONCELOS *et al.*, 2022) concluem que:



Portanto, é fundamental investir em **políticas de comunicação climática**, de modo a melhorar a percepção dos agricultores e, assim, aumentar as chances de busca por alternativas de adaptação. Deve estar incluída nessas políticas a **expansão do acesso aos serviços de assistência técnica e extensão rural (ATER)**, os quais são atualmente utilizados por uma parcela muito pequena de agricultores familiares. Além de disponibilizar informações sobre as mudanças climáticas, a ATER pode contribuir para a diversificação das atividades agrícolas, **melhorar a gestão das propriedades** e também **adoção de tecnologias que possibilitem maior produtividade** (BUAINAIN; CAVALCANTE; CONSOLINE, 2021).

Assim como o acesso aos serviços de ATER, a **associação a cooperativas** constitui-se alternativa para aumentar a resiliência de agricultores familiares. Com base em revisão de literatura e pesquisa empírica, Silva e Nunes (2023, p. 20) concluíram que as cooperativas propiciam "melhoria das condições de produção (...) da agricultura de base familiar, sobretudo, quando são considerados os desafios desse segmento em relação à organização da produção, de agregação de valor aos produtos e para comercialização". Segundo Santos, Silva e Santana (2022, p. 243), "os dados do Censo Agropecuário evidenciam que há correlação direta entre o associativismo, principalmente o cooperativo, e o acesso a tecnologias, organização produtiva, crédito e acesso à comercialização". Por sua vez, Mariosa e colaboradores (2022) sugerem que o desenvolvimento de cooperativas e associações de economia solidária para a agricultura familiar pode gerar benefícios ambientais (conservação dos recursos naturais) e socioeconômicos (mais integração ao mercado, valorização da produção, aumento da renda familiar e melhora nas condições de vida e bem estar).

O acesso a informações e serviços de ATER e a participação em cooperativas e associações pode contribuir para disseminar as tecnologias de produção que funcionam como estratégias de adaptação (aumentam a resiliência) e ainda contribuem para a mitigação das emissões de GEE - "agricultura de baixo carbono" ou "agricultura inteligente ao clima". Essas técnicas envolvem a diversificação de culturas, controle de erosão e restauração de paisagens degradadas, menor uso de insumos químicos, tratamento de dejetos, reflorestamento etc. Uma das tecnologias que vêm sendo utilizadas com sucesso na agricultura familiar das regiões Norte e Nordeste são os sistemas agroflorestais - SAFs (MICCOLIS et al., 2019a; MICCOLIS et al., 2019b; NASCIMENTO; ALVES; SOUZA, 2019; SIGNOR et al., 2022).

Os SAFs representam um "mecanismo de inclusão social para pequenos produtores de baixa renda por meio da valoração de produtos 'naturais', associada à conservação da biodiversidade e de serviços ambientais" (CUADRA et al., 2018, p. 39). Ao aliar diversificação produtiva, aumento da oferta de serviços ecossistêmicos e melhoria das condições de vida da população, os SAFs ampliam os benefícios ambientais, sociais e econômicos para os agentes envolvidos no processo, assim contribuindo para o desenvolvimento regional sustentável. Um benefício adicional dos SAFs é a possibilidade de menor emissão de GEE, como demonstrado no Box 4.

Agricultura familiar “inteligente ao clima”

De acordo com Angelotti e Giongo (2019, p. 446), “a agricultura familiar tem um papel importantíssimo no desenvolvimento sustentável das regiões Norte e Nordeste, disponibilizando alimento em escala local, além de ser responsável pela conservação dos recursos naturais e da agrobiodiversidade”. Nesse sentido, os agricultores familiares podem contribuir no combate às mudanças climáticas por meio da utilização de práticas agropecuárias “inteligentes ao clima”, ou seja, que aumentam a resiliência e reduzem a pobreza, ao mesmo tempo em que são emitidos menos gases de efeito estufa (GEE). Um exemplo dessa contribuição foi apresentado no estudo “Estimativa da emissão de gases de efeito estufa provenientes de rebanhos de caprinos e ovinos no bioma Caatinga, Semiárido brasileiro, em cenários de atuação do Fundo Internacional de Desenvolvimento Agrícola - FIDA”, de Henrique, Bonfim e Tonucci (2023). Os autores demonstraram que sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) associados a melhorias nutricionais do rebanho podem reduzir as emissões de GEE da pecuária no bioma Caatinga. Os experimentos foram conduzidos em propriedades de agricultores familiares nos municípios de Coxixola e Sumé, no semiárido da Paraíba. Foram avaliadas diferentes formas de organização da produção, sendo que o cenário de “baixa adesão tecnológica” (controle) correspondeu a áreas degradadas com menor qualidade de alimentação para os caprinos e ovinos, sem nenhuma suplementação adicional. Os tratamentos, por sua vez, foram baseados em sistema de ILPF já estabelecido (“alta adesão tecnológica”) e propriedades com áreas em processo de transformação, ou seja, com plantio de alimentos suplementares (gramíneas como milho e sorgo, e leguminosas, como leucina, moringa e gliricídia) e formação de pastagem (“média adesão tecnológica”). Nesses dois últimos cenários, os animais tinham uma suplementação extra, com mistura de alimentos concentrados (farelo de milho, soja e trigo e sal mineral). Os resultados da referida pesquisa demonstram que quanto maior o nível de adesão tecnológica, menores as emissões de GEE do rebanho (-23,3% e -7,6% de emissões de CO₂eq nos sistemas de nível tecnológico alto e médio, respectivamente). Resultados semelhantes foram obtidos por Signor e colaboradores (2022), por meio da análise de um sistema silvipastoril desenvolvido pela Embrapa Semiárido e denominado “CBL - Caatinga Buffel Leucena ou outra Leguminosa Forrageira”. No sistema são produzidos caprinos de corte, em áreas com capim-buffel (sem utilização de fertilizantes) e “Caatinga pastejada (...) composta por vegetação nativa, rica em plantas forrageiras, dividida em quatro piquetes (...), que são utilizados sob pastejo rotacionado”; essas áreas foram comparadas com um trecho de Caatinga preservada (SIGNOR et al., 2022, p. 2). Conforme os autores, “as áreas sob pastejo (Caatinga pastoreada e pastagem de capim-buffel) apresentam menores fluxos de GEE, quando comparadas à Caatinga nativa, sendo um importante indicativo da sustentabilidade ambiental das atividades silvipastoris neste bioma” (Ibidem, p. 9). Tal conclusão é muito importante, pois o sistema CBL tem potencial de ser implementado em até 62% da área do Semiárido brasileiro.

O desenvolvimento de SAFs utilizando técnicas agroecológicas promove a intensificação agrícola sustentável, ou seja, possibilita o aumento da produtividade e da resiliência aos choques climáticos, ao mesmo tempo em que mantém os serviços ecossistêmicos. Altieri Funes-Monzote e Petersen (2012, p. 1) explicam que “o paradigma de desenvolvimento agroecológico é baseado na revitalização de pequenas propriedades, enfatizando (...) processos sociais que valorizam a participação e o empoderamento da comunidade”. De acordo com Mbow e colaboradores, a agroecologia “aumenta a diversidade (...) de genes, espécies e ecossistemas (...) e promove os sistemas alimentares locais, garantindo acesso justo a alimentos saudáveis por meio de dietas nutritivas e diversificadas” (MBOW et al., 2019, p. 501).

O investimento em “agricultura inteligente ao clima” por agricultores familiares, como é o caso dos SAFs, enfrenta algumas barreiras, entre as quais se destaca o alto custo de implantação das técnicas quando comparados aos sistemas produtivos convencionais já praticados (MICCOLIS et al., 2019b). Por essa razão, o apoio governamental por meio de políticas de crédito e de capacitação é muito importante. Entretanto, somente ofertar mais crédito não basta, é preciso garantir que os financiamentos sejam acessados pelos agricultores, o que demanda outras iniciativas, tais como:

Programas de regularização fundiária e ambiental, já que o acesso ao crédito depende da propriedade da terra e da conformidade com a legislação ambiental (SANTOS; SILVA; SANTANA, 2022)

Redução da burocracia e apoio para elaboração de projetos por técnicos agrícolas e extensionistas qualificados (HERWEHE; SCOTT, 2018);

Garantir que os agricultores terão condições de pagar os empréstimos, oferecendo juros baixos e/ou prazos maiores e com carência no período de implantação e maturação do negócio (MICCOLIS et al., 2019b);

Apoio para agregar valor e garantir acesso a melhores condições de mercados, de preferência por meio de cadeias curtas, ou seja, negociação direta entre agricultores e consumidores, além de políticas de garantia de preço (SANTOS; SILVA; SANTANA, 2022; MESQUITA et al., 2021);

Políticas sociais/assistenciais e de seguro agrícola, sobretudo quando ocorrem eventos climáticos extremos, os quais tem se tornado mais frequentes e intensos no período recente (HERWEHE; SCOTT, 2018).

O Brasil já possui (ou teve) diversas políticas públicas com as características descritas acima. Por exemplo, Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF), Programa Nacional de Reforma Agrária, Programa de Fomento às Atividades Produtivas, Política de Garantia de Preços Mínimos para os Produtos da Sociobiodiversidade, Programa Nacional de Alimentação Escolar, Programa de Aquisição de Alimentos, Aquisição do Governo Federal, Garantia Safra, Programa 1 Milhão de Cisternas, Programa de Apoio à Conservação do Meio Ambiente, Bolsa Família, entre outros. Entretanto, grande parte dos agricultores mais pobres e vulneráveis ainda não tem acesso a essas políticas ou não utilizam seu pleno potencial.

Nesse sentido, todas essas iniciativas podem ser melhor desenvolvidas com o apoio de associações da sociedade civil e agentes locais. Agentes não estatais próximos das comunidades, nos quais os agricultores confiam, têm mais facilidade para apoiar o desenvolvimento dos projetos, reduzindo assimetrias informacionais e barreiras culturais, além de oferecer conhecimento técnico e capacitação (BETTLES *et al.*, 2021). Ademais, algumas instituições internacionais “operam a nível local e influenciam fortemente os meios de subsistência e os mercados dos pequenos agricultores” (MBOW *et al.*, 2019, p. 474). O FIDA é um exemplo dessas instituições, pois desenvolve ações que

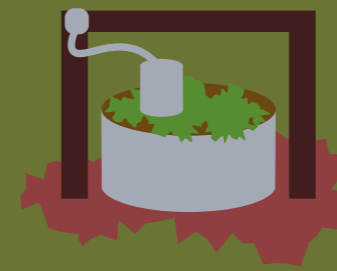
“contribuem para (...) cuidar do meio ambiente e tornar a agricultura familiar mais resistente aos efeitos das mudanças climáticas. Os programas e projetos tem como elementos norteadores a conservação da biodiversidade, a produção sustentável e baseada em princípios de associativismo e cooperativismo, a inclusão de povos e comunidades tradicionais, a participação feminina e da juventude, a soberania alimentar, a agregação de valor e comercialização de produtos e a facilitação do acesso a políticas públicas (DA CUNHA, 2022, p. 44).

Estratégias para aumentar a resiliência da agricultura familiar

Diversas iniciativas podem contribuir para melhorar as condições de vida dos agricultores familiares, reduzindo sua vulnerabilidade às mudanças climáticas e fortalecendo o desenvolvimento rural. Algumas dessas estratégias são listadas a seguir.



- **Pagamento por serviços ambientais** – busca a conservação dos recursos naturais (evitando degradação ou desmatamento) e, assim, manutenção dos serviços ecossistêmicos por meio do manejo sustentável da fauna e da flora.
- **Diversificação produtiva** - aumenta a disponibilidade de alimentos para as famílias e, ao mesmo tempo, minimiza perdas resultantes de eventos climáticos extremos ou oscilações do mercado.
- **Produção orgânica** (incluindo o controle biológico de pragas e doenças) – melhora a qualidade ambiental da propriedade e dos produtos, além de propiciar maior valor agregado (deve ser apoiada pelo desenvolvimento de selos de qualidade e/ou certificações que sejam acessíveis aos agricultores familiares).
- **Quintais produtivos** – incrementam a alimentação das famílias e geram renda para as mulheres, o que facilita o seu empoderamento, além de propiciar a perpetuação das espécies e a conservação da biodiversidade.
- **Estocagem de água da chuva, uso/reuso eficiente de recursos hídrico** – sobretudo na região semiárida, permitindo a descentralização/democratização do acesso à água e garantindo segurança hídrica para as atividades cotidianas e produção de alimentos utilizando irrigação.
- **Fontes alternativas de energia** – fogões ecológicos garantem eficiência e segurança energética a baixos custos, além de contribuir para redução de doenças respiratórias; biodigestores representam boa prática de gestão ambiental por meio do aproveitamento de resíduos orgânicos (ideia de “economia circular”), e também oferecem uma fonte de energia alternativa relativamente barata, com impactos positivos diretos sobre a renda das famílias.
- **Conservação da riqueza genética regional, melhoramento genético e conservação in situ de plantas** – identifica, preserva e utiliza para fins de geração de renda a agrobiodiversidade.
- **Feiras e casas de sementes crioulas** – além da preservação do patrimônio genético regional, possibilita a troca de saberes entre povos e comunidades tradicionais (indígenas e quilombolas, por exemplo).
- **Aproveitamento medicinal e estético de plantas nativas** – promove a melhoria das condições de saúde da população ao mesmo tempo em que preserva e transmite os conhecimentos tradicionais acumulados; há, ainda, a possibilidade de ganhos econômicos por meio de associações com a indústria farmacêutica e de cosméticos.
- **Agroindústrias familiares** – permite o processamento e beneficiamento da produção agropecuária, o que agrega valor aos produtos, diminui a sazonalidade e aumenta sua durabilidade.
- **Acesso ao mercado em condições mais vantajosas** – geração de cadeias curtas de comércio, aproximando produtores e vendedores e garantindo relações mais justas entre agricultores e demais elos das cadeias produtivas.



É importante destacar que, além dos SAFs, muitas outras estratégias que aumentam a resiliência de agricultores familiares existem ou estão sendo desenvolvidas nos projetos regionais coordenados por associações da sociedade civil, institutos de pesquisa, universidades e outras instituições nacionais e internacionais (ver Box 5). Nem sempre há o objetivo explícito de adaptação às mudanças climáticas, embora esse seja um resultado indireto das ações. Em comum a todas as iniciativas está o uso sustentável dos recursos naturais e dos conhecimentos locais na busca da “solução de demandas sociais concretas, vividas e identificadas pela população” (GUTIERREZ; OLIVEIRA, 2018, p. 8), o que potencializa o desenvolvimento regional sustentável.

Independentemente da estratégia adotada, é muito importante ressaltar que a *convivência* é a palavra-chave para o aumento da resiliência da agricultura familiar em ambas as regiões. *Conviver* com a floresta, no Norte, e com o Semiárido, no Nordeste, implica em desenvolver estratégias de geração de renda e melhoria do bem estar em associação com a preservação dos recursos naturais.

Não se trata de “manter a floresta intacta” ou “combater a seca”, mas de adaptar as condições locais às necessidades dos seus habitantes, numa perspectiva de sustentabilidade. Portanto, essas iniciativas devem ser baseadas em Tecnologias Sociais (TIs), que unem conhecimentos científicos e populares, por meio de metodologias participativas.

De acordo com Instituto de Tecnologia Social (ITS - Brasil, p. 17), as TIs correspondem a “práticas de intervenção social que se destacam pelo êxito na melhoria das condições de vida da população, construindo soluções participativas, estreitamente ligadas às realidades locais onde são aplicadas”. Entre as principais características das TIs, destacam-se “baixo custo de implantação, facilidade de construção e replicação, participação não discriminatória e ganho social para a população” (DA CUNHA, 2022, p. 34).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As mudanças climáticas já estão ocorrendo e tendem a se intensificar ao longo do século XXI. Embora seja um fenômeno global, o grau com que diferentes grupos humanos serão afetados varia enormemente. Foi demonstrado ao longo deste estudo que dois fatores principais explicam essa vulnerabilidade diferenciada: a localidade geográfica e as condições socioeconômicas. Com base nesse fato, revisamos a literatura para tratar da agricultura familiar das regiões Norte e Nordeste.

A legislação brasileira caracteriza a “Unidade Familiar de Produção Agrária” como sendo aquela que possui área de até quatro módulos fiscais, de modo que esse grupo inclui pequenos e grandes agricultores. Entretanto, independentemente do tamanho, neste estudo foram considerados os agricultores que dependem do trabalho da família para gerir e operar suas atividades (agrícolas, pecuárias ou extrativistas), das quais provém sua principal fonte de renda e sustento. Nesse grupo estão incluídas as famílias rurais que foram assentadas pelo governo, bem como indígenas, quilombolas, caboclos, seringueiros e famílias ribeirinhas.

Os agricultores familiares são importantes para a produção e manutenção da agricultura sustentável em áreas rurais. Em geral, adotam sistemas produtivos mais diversificados e com maior conservação dos recursos naturais. Ao mesmo tempo, esse grupo pode sofrer grandes perdas em função das mudanças climáticas, pois são muito dependentes das condições edafoclimáticas para sobrevivência (produção, alimentação e geração de renda) e possuem capacidade adaptativa baixa.

A partir da análise do padrão histórico das condições climáticas observadas nos últimos 30 anos, este estudo demonstrou que as regiões Norte e Nordeste vêm enfrentando elevação da temperatura média, máxima e mínima, redução gradual das chuvas e alteração de seu padrão sazonal, ondas de calor e secas mais frequentes e prolongadas. As projeções do IPCC-AR6 (2021) indicam que esses riscos tendem a se agravar no futuro, com prejuízos esperados ainda maiores no cenário “pessimista” (SSP5-8.5). Embora esses sejam impactos comuns a ambas as regiões (que se diferenciam apenas em magnitude), cada uma pode ter agravados outros efeitos negativos, a depender de suas condições específicas. Para a região Norte são previstos riscos elevados de incêndios florestais, enchentes e inundações, assim como maior probabilidade de savanização da floresta Amazônica. No Nordeste, há maiores riscos de aumento da desertificação, o que reduziria ainda mais as áreas propícias para a agricultura.

Todos esses impactos já observados e que tendem a se intensificar terão efeitos diretos sobre a produção agrícola local. As mudanças climáticas podem afetar negativamente a produção de alimentos em ambas as regiões, causando o comprometimento da segurança alimentar e aumentando a pobreza rural. Consequentemente, pode haver mais pressão sobre os recursos naturais, como a água, os solos, a flora e a fauna, afetando a distribuição e a sobrevivência de espécies, e levando à perda de biodiversidade. Em decorrência disso, as populações locais que dependem desses recursos para a sua sobrevivência sofrerão maiores prejuízos, piorando a economia regional e a qualidade de vida da população. Tudo isso pode levar a processos migratórios, com agravamento da vulnerabilidade das famílias migrantes.

O Quadro 2 resume os impactos negativos das mudanças climáticas nas regiões Norte e Nordeste e seus efeitos sobre a agricultura familiar.

Quadro 2 - Condições ambientais e impactos na agricultura familiar resultantes das mudanças climáticas

Condições ambientais

- **Elevação da temperatura e redução das chuvas (variações graduais).**
- **Ondas de calor e secas mais frequentes e prolongadas.**
- **Mais riscos de incêndios florestais, enchentes e inundações (Norte).**
- **Aumento da desertificação no Semiárido.**
- **Maior risco de savanização da floresta Amazônica.**

Impactos na agricultura familiar

- **Perdas de safras e redução da produtividade.**
- **Redução da “janela temporal” para plantio.**
- **Insegurança hídrica e alimentar.**
- **Aumento da pobreza rural e urbana.**
- **Maiores fluxos migratórios.**
- **Perdas de biodiversidade.**
- **Mais doenças (infecciosas e não infecciosas).**

Como demonstrado neste estudo, os agricultores familiares possuem menor capacidade adaptativa. Entre os principais fatores que explicam essa conclusão, o presente estudo demonstrou que:

- Muitos agricultores familiares nessas regiões possuem renda baixa e dependem exclusivamente da produção agrícola para a sua subsistência. Essa situação limita sua capacidade de investir em tecnologias mais avançadas e em práticas de adaptação às mudanças climáticas;
- A agricultura familiar tem pouco acesso às previsões climáticas e informações sobre práticas agrícolas mais resilientes. Isso dificulta a capacidade dos agricultores de tomar decisões informadas sobre as melhores estratégias de adaptação;

- As regiões Norte e Nordeste do Brasil são propensas a condições climáticas extremas, como secas, enchentes e eventos climáticos intensos. Essas condições podem afetar severamente as plantações e limitar a produção agrícola, prejudicando a renda e a subsistência dos agricultores familiares; e
- Há ainda limitado acesso políticas públicas que poderiam contribuir para investir em práticas de adaptação às mudanças climáticas. Isso inclui financiamento para investir em tecnologias mais avançadas e assistência técnica/extensão rural para implementar práticas mais sustentáveis.

Este estudo também demonstrou que alguns grupos tendem a ser ainda mais prejudicados, o que é o caso de mulheres e dos povos tradicionais, como indígenas, quilombolas e ribeirinhos. Esses grupos já enfrentam desigualdades socioeconômicas e políticas que limitam seu acesso a recursos e oportunidades. As mudanças climáticas podem piorar ainda mais essa situação, aumentando a pobreza e a exclusão social. No caso das mulheres, há um fator agravante, que é a discriminação de gênero. Elas, muitas vezes, têm menos acesso a políticas públicas e a recursos do que os homens, o que as tornam mais vulneráveis às mudanças climáticas. Além disso, durante as crises climáticas, as mulheres tendem a ser mais afetadas em decorrência de funções assumidas na família e na comunidade, como a responsabilidade pela alimentação familiar, o cuidado das crianças, idosos e enfermos.

Diante desse cenário, o caminho para o desenvolvimento sustentável se torna muito mais complexo, pois a redução da pobreza e a melhoria das condições de vida da população, associadas aos ganhos econômicos e conservação ambiental, estão ameaçadas pelas mudanças climáticas. Por essa razão, ampliar a capacidade de resposta dos agricultores familiares é um pré-requisito essencial para reduzir os impactos das mudanças do clima. Entre as principais alternativas demonstradas neste estudo, destacam-se:

- Adoção de técnicas e práticas agrícolas sustentáveis, como a agroecologia, que visam a aumentar a resiliência do solo e das plantas às variações climáticas e reduzir a dependência de insumos externos;
- Diversificação de cultivos e sistemas agroflorestais, que contribuem para a conservação da biodiversidade e aumentam a segurança alimentar e a renda dos agricultores;
- Técnicas de manejo do solo que utilizam adubação orgânica são mais acessíveis e menos dependentes de insumos químicos; ao mesmo tempo, o manejo integrado de pragas e doenças com base na utilização de agentes biológicos, o que minimiza o uso de agrotóxicos;
- Acesso a informações climáticas atualizadas e tecnologias adaptadas às condições locais, como sistemas de irrigação eficientes e variedades de plantas resistentes a estresses ambientais;
- Fortalecimento de redes de cooperação e troca de conhecimentos entre os agricultores familiares e entre esses e outras instituições e organizações que atuam no campo da agricultura sustentável; e
- Promoção de políticas públicas que apoiem e incentivem a produção agroecológica, a comercialização dos produtos locais e a organização dos agricultores em cooperativas e associações.

As alternativas de adaptação elencadas neste estudo, além de aumentarem a resiliência da agricultura familiar, também podem promover externalidades positivas, ou seja, contribuir para a conservação ambiental e redução das emissões de GEE. Essas técnicas de “agricultura inteligente ao clima” devem ser fomentadas, pois respeitam as características produtivas, potencialidades e identidade cultural dos distintos grupos que formam a agricultura familiar das regiões Norte e Nordeste do Brasil.

Fomentar a agricultura familiar diante dos riscos atuais e esperados para o futuro é uma questão de justiça climática, pois esse grupo é desproporcionalmente prejudicado, ao mesmo tempo em que sua contribuição para as emissões de GEE é inferior à da agricultura patronal.

Portanto, a redução da vulnerabilidade precisa ser amplamente apoiada pelos órgãos governamentais por meio de políticas públicas adequadas às características regionais. É preciso articulação entre as esferas federal, estadual e municipal para que essas políticas cheguem, de fato, à população que mais depende delas. As associações da sociedade civil e lideranças locais possuem grande importância nesse processo, pois estão mais próximas dos agricultores e conhecem profundamente sua realidade.

REFERÊNCIAS

ALMUDI, T.; SINCLAIR, A. J. Extreme hydroclimatic events in rural communities of the Brazilian Amazon: local perceptions of change, impacts, and adaptation. **Regional environmental change**, v. 22, n. 1, p. 27, 2022. <https://doi.org/10.1007/s10113-021-01857-0>.

ALTIERI, M. A.; FUNES-MONZOTE, F. R.; PETERSEN, P. Agroecologically efficient agricultural systems for smallholder farmers: contributions to food sovereignty. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 32, p. 1-13, 2012. <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0065-6>.

ALVES DE OLIVEIRA, B. F.; BOTTINO, M. J.; NOBRE, P. *et al.* Deforestation and climate change are projected to increase heat stress risk in the Brazilian Amazon. **Communications Earth & environment**, v. 2, p. 207, 2021. <https://doi.org/10.1038/s43247-021-00275-8>.

ALVES-PINTO, H. N.; CORDEIRO, C. L. O.; GELDMANN, J.; JONAS, R. D.; GAIARSA, M. P.; BALMFORD, A.; WATSON, J. E. M.; LATAWIEC, A. E.; STRASSBURG, B. The role of different governance regimes in reducing native vegetation conversion and promoting regrowth in the Brazilian Amazon. **Biological Conservation**, v. 267, p. 109473, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2022.109473>.

ANGELOTTI, F.; GIONGO, V. Ações de mitigação e adaptação frente às mudanças climáticas. *In*: MELO, R. F.; VOLTOLINI, T. V. (Eds.). **Agricultura familiar dependente de chuva no Semiárido**. Brasília: Embrapa, 2019. p. 445-467.

ASSAD, E. D.; OLIVEIRA, A. F.; NAKAI, A. M.; PAVÃO, E.; PELLEGRINO, G.; MONTEIRO, J. E. Impactos e vulnerabilidades da agricultura brasileira às mudanças climáticas. *In*: BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Modelagem climática e vulnerabilidades Setoriais à mudança do clima no Brasil**. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2016.

ASSUNÇÃO, J.; CHEIN, F. Climate change and agricultural productivity in Brazil: future perspectives. **Environment and Development Economics**, v. 21, n. 5, p. 581-602, 2016. <https://doi.org/10.1017/S1355770X1600005X>

AVILA, J. V. C.; CLEMENT, C. R.; JUNQUEIRA, A. B.; TICKTIN, T.; STEWARD, A. M. Adaptive management strategies of local communities in two Amazonian floodplain ecosystems in the face of extreme climate events. **Journal of Ethnobiology**, v. 41, n. 3, p. 409-426, 2021. <https://doi.org/10.2993/0278-0771-41.3.409>

AVILA-DIAZ, A.; TORRES, R. R.; ZULUAGA, C. F. *et al.* Current and future climate extremes over Latin America and Caribbean: assessing Earth System Models from High Resolution Model Intercomparison Project (HighResMIP). **Earth Systems and Environment**, v. 7, p. 99-130, 2023. <https://doi.org/10.1007/s41748-022-00337-7>

BALLARIN, A. S.; SONE, J. S.; GESUALDO, G. C.; SCHWAMBACK, D.; REIS, A.; ALMAGRO, A.; WENGLAND, E. C. CLIMBra - Climate Change Dataset for Brazil. **Scientific Data**, v. 10, p. 47, 2023. <https://doi.org/10.1038/s41597-023-01956-z>

BETTLES, J.; BATTISTI, D. S.; COOK-PATTON, S. C.; KROEGER, T.; SPECTOR, J. T.; WOLFF, N. H.; MASUDA, Y. J. Agroforestry and non-state actors: a review. **Forest Policy and Economics**, v. 130, p. 102538, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2021.102538>.

BERENQUER, E.; ARMENTERAS, D.; LEES, A. C. *et al.* Drivers and ecological impacts of deforestation and forest degradation. *In*: NOBRE, C.; ENCALADA, A.; ANDERSON, E. *et al.* (Eds.). **Amazon Assessment Report 2021**. New York: United Nations Sustainable Development Solutions Network. 2021. Capítulo 19. DOI: <https://doi.org/10.55161/AIZJ1133>

BRASIL. Presidência da República. **Decreto no 6.040, de 7 de fevereiro de 2007**. Institui a Política Nacional de Desenvolvimento Sustentável dos Povos e Comunidades Tradicionais. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/decreto/d6040.htm. Acesso em 26 fev. 2023.

BRONDIZIO, E. S.; MORAN, E. F. Human dimensions of climate change: the vulnerability of small farmers in the Amazon. **Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences**, v. 363, n. 1498, p. 1803-1809, 2008. <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.0025>

BUAINAIN, A. M.; CAVALCANTE, P.; CONSOLINE, L. **Estado atual da agricultura digital no Brasil**: inclusão dos agricultores familiares e pequenos produtores rurais. Documentos de Projetos (LC/TS.2021/61). Santiago: Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe (CEPAL), 2021.

CHARLES, A.; KALIKOSKI, D.; MACNAUGHTON, A. **Addressing the climate change and poverty nexus**: a coordinated approach in the context of the 2030 agenda and the Paris agreement. Roma: FAO, 2019.

CORTEZ, B. N.; PIRES, G. F.; AVILA-DIAZ, A.; PAIVA, H. F.; OLIVEIRA, L. R. Nonstationary extreme precipitation in Brazil. **Hydrological Sciences Journal**, v. 67, n. 9, p. 1372-1383, 2022. <https://doi.org/10.1080/02626667.2022.2075267>

CUADRA, S. V.; HEINEMANN, A. B.; BARIONI, L. G.; MOZZER, G. B.; BERGIER, I. (Eds.). **Ação contra a mudança global do clima**: contribuições da Embrapa. Brasília: Embrapa, 2018.

CUNHA, A. P. M. A.; ALVALÁ, R. C. S.; CUARTAS, L. A.; *et al.* Brazilian Experience on the Development of Drought Monitoring and Impact Assessment Systems. **Contributing Paper to GAR 2019**. Disponível em: <https://www.preventionweb.net/publications/view/66570>. Acesso em 16 fev. 2023.

CUNHA, A. P. M. A.; ZERI, M.; DEUSDARÁ LEAL, K.; COSTA, L.; CUARTAS, L. A.; MARENGO, J. A.; TOMASELLA, J.; VIEIRA, R. M.; BARBOSA, A. A.; CUNNINGHAM, C.; CAL GARCIA, J. V.; BROEDEL, E.; ALVALÁ, R.; RIBEIRO-NETO, G. Extreme Drought Events over Brazil from 2011 to 2019. **Atmosphere**, v. 10, p. 642, 2019. <https://doi.org/10.3390/atmos10110642>.

DA CUNHA, D. A. **Mudanças climáticas e convivência com o Semiárido brasileiro**. Viçosa: IPPDS, UFV, 2022.

DANTAS, J. C.; DA SILVA, R. M.; SANTOS, C. A. G. Drought impacts, social organization, and public policies in northeastern Brazil: a case study of the upper Paraíba River basin. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 92, n. 5, p. 317, 2020. <https://doi.org/10.1007/s10661-020-8219-0>.

DA SILVA, P. E., SILVA E SANTOS, C. M. S.; SPYRIDES, M. H. C.; ANDRADE, L. M. B. Precipitation and air temperature extremes in the Amazon and northeast Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 39, n. 2, p. 579-595, 2019. <https://doi.org/10.1002/joc.5829>.

DELAZERI, L. M. M.; DA CUNHA, D. A.; OLIVEIRA, L. R. Climate change and rural-urban migration in the Brazilian Northeast region. **GeoJournal**, v. 87, p. 2159-2179, 2022. <https://doi.org/10.1007/s10708-020-10349-3>

DELAZERI, L. M. M.; DA CUNHA, D. A.; VICERRA, P. M. M.; OLIVEIRA, L. R. Rural outmigration in Northeast Brazil: Evidence from shared socioeconomic pathways and climate change scenarios. **Journal of Rural Studies**, v. 91, p. 73-85, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2022.03.004>.

DEPAULA, G. **The Distributional Impact of Climate Change in Brazilian Agriculture: A Ricardian Quantile Analysis with Census Data**. Working Paper 18-WP 583 – Center for Agricultural and Rural Development (Iowa State University), 2018.

DOBKOWITZ, S.; WALZ, A.; BARONI, G.; PÉREZ-MARIN, A. M. Cross-Scale Vulnerability Assessment for Smallholder Farming: A Case Study from the Northeast of Brazil. **Sustainability**, v. 12, p. 3787, 2020. <https://doi.org/10.3390/su12093787>.

FIRPO, M. Â. F.; GUIMARÃES, B. S.; DANTAS, L. G.; SILVA, M. G. B.; ALVES, L. M.; CHADWICK, R.; LLOPART, M. P.; OLIVEIRA, G. S. Assessment of CMIP6 models' performance in simulating present-day climate in Brazil. **Frontiers in Climate**, v. 4, p. 948499, 2022. <https://doi.org/10.3389/fclim.2022.948499>.

FUNATSU, B. M.; DUBREUIL, V.; RACAPÉ, A.; DEBORTOLI, N. S.; NASUTI, S.; LE TOURNEAU, F.-M. Perceptions of climate and climate change by Amazonian communities. **Global Environmental Change**, v. 57, p. 101923, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2019.05.007>.

GUTIERREZ, D. M. D.; OLIVEIRA, F. R. M. (Orgs.) **Tecnologias para inclusão social**: experiências contemporâneas do INPA em extensão com foco nas tecnologias sociais. Manaus: Editora INPA, 2018.

MAIA, A. G.; CESANO, D.; MIYAMOTO, B. C. B.; EUSEBIO, G. S.; SILVA, P. A. O. Climate change and farm-level adaptation: the Brazilian Sertão. **International Journal of Climate Change Strategies and Management**, v. 10, n. 5, p. 1-23, 2018. <https://doi.org/10.1108/IJCCSM-04-2017-0088>.

MAIA, A. G.; SCHONS, S. The effect of environmental change on out-migration in the Brazilian Amazon rainforest. **Population and Environment**, v. 42, p. 183-218, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11111-020-00358-2>.

GRAEUB, B. E.; CHAPPELL, M. J.; WITTMAN, H.; LEDERMANN, S.; KERR, R. B.; GEMMILL-HERREN, B. The State of Family Farms in the World. **World Development**, v. 87, p. 1-15, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2015.05.012>.

HENRIQUE, F. L.; BONFIM, M. A. D.; TONUCCI, R. G. Estimativa da emissão de gases de efeito estufa provenientes de rebanhos de caprinos e ovinos no bioma Caatinga, Semiárido Brasileiro, em cenários de atuação do FIDA. Viçosa: IPPDS, UFV, 2023.

HERWEHE, L.; SCOTT, C. A. Drought adaptation and development: small-scale irrigated agriculture in northeast Brazil. **Climate and Development**, v. 10, n. 4, p. 337-346, 2018. <https://doi.org/10.1080/17565529.2017.1301862>.

INSTITUTO DE TECNOLOGIA SOCIAL – ITS BRASIL. **Caderno de Debate** – Tecnologia Social no Brasil. São Paulo: ITS, 2004.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. Summary for policymakers. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. *In*: STOCKER, T. F.; QIN, D.; PLATTNER, G. K.; *et al.* (Eds.). **Climate Change 2013**: The Physical Science Basis. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. Summary for Policymakers. *In*: SHUKLA, P. R.; SKEA, J.; CALVO BUENDIA, E. *et al.* (Eds.). **Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems**. Cambridge: Cambridge University Press, 2019, p. 437-550. <https://doi.org/10.1017/9781009157988.007>

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. Summary for policymakers. Contribution of working group I to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. *In*: MASSON-DELMOTTE, V.; ZHAI, P.; PIRANI, A.; *et al.* (Eds.). **Climate Change 2021**: The Physical Science Basis. In Press: Cambridge University Press, 2021.

IWAMA, A. Y.; BATISTELLA, M.; FERREIRA, L. C.; ALVES, D. S.; FERREIRA, L. C. Risco, vulnerabilidade e adaptação às mudanças climáticas. **Ambiente & Sociedade**, v. XIX, n. 2, p. 95-118, 2016. <https://doi.org/10.1590/1809-4422ASOC137409V1922016>.

JÄGERMEYR, J., MÜLLER, C., RUANE, A.C. *et al.* Climate impacts on global agriculture emerge earlier in new generation of climate and crop models. **Nat Food**, v. 2, p. 873-885, 2021. <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00400-y>.

JONES, C. D. The climate science for service partnership Brazil. Climate Resilience and **Sustainability**, v. 1, n. 1, p. e30, 2022 <https://doi.org/10.1002/cli2.30>.

LAPOLA, D. M.; PINHO, P.; BARLOW, J. *et al.* The drivers and impacts of Amazon forest degradation. **Science**, v. 379, n. 6630, p. eabp8622. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.abp8622>.

LAPOLA, D.M., SILVA, J.M.C.D., BRAGA, D.R., CARPIGIANI, L., OGAWA, F., TORRES, R.R., BARBOSA, L.C., OMETTO, J.P., JOLY, C.A. A climate-change vulnerability and adaptation assessment for Brazil's protected areas. **Conserv. Biol.**, v. 34, p. 427–437, 2020. <https://doi.org/10.1111/cobi.13405>.

LEITE-FILHO, A.T., SOARES-FILHO, B.S., DAVIS, J.L. *et al.* Deforestation reduces rainfall and agricultural revenues in the Brazilian Amazon. **Nat Commun**, v. 12, p. 2591, 2021. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22840-7>

LINDOSO, D. P.; EIRÓ, F.; BURSZTYN, M.; RODRIGUES-FILHO, S.; NASUTI, S. Harvesting Water for Living with Drought: Insights from the Brazilian Human Coexistence with Semi-Aridity Approach towards Achieving the Sustainable Development Goals. **Sustainability**, v. 10, p. 622, 2018. <https://doi.org/10.3390/su10030622>.

LINDOSO, D.P., ROCHA, J.D., DEBORTOLI, N. *et al.* Integrated assessment of smallholder farming's vulnerability to drought in the Brazilian Semi-arid: a case study in Ceará. **Climatic Change**, v. 127, p. 93–105, 2014. <https://doi.org/10.1007/s10584-014-1116-1>.

LOWDER, S. K.; SKOET, J.; RANEY, T. The Number, Size, and Distribution of Farms, Smallholder Farms, and Family Farms Worldwide. **World Development**, v. 87, p. 16-29, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2015.10.041>.

MACHADO-FILHO, H.; MORAES, C.; BENNATI, P. *et al.* **Mudança do clima e os impactos na agricultura familiar no Norte e Nordeste do Brasil**. Working Paper No. 141 – Centro Internacional de Políticas para o Crescimento Inclusivo (IPC-IG), 2016.

MAGALHÃES, H. F.; FEITOSA, I. S.; ARAÚJO, E. L.; ALBUQUERQUE, U. P. Farmers' Perceptions of the Effects of Extreme Environmental Changes on Their Health: A Study in the Semiarid Region of Northeastern Brazil. **Frontiers in Environmental Science**, v. 9, p. 735595, 2022. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.735595>.

MAGALHÃES, H. F.; FEITOSA, I. S.; ARAÚJO, E. L.; ALBUQUERQUE, U. P. Perceptions of Risks Related to Climate Change in Agroecosystems in a Semi-arid Region of Brazil. **Human Ecology**, v. 49, p. 403-413, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10745-021-00247-8>.

MARENGO, J. A.; CUNHA, A.; NOBRE, C. A.; *et al.* Assessing drought in the drylands of northeast Brazil under regional warming exceeding 4°C. **Natural Hazards**, v. 103, p. 2589-2611, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04097-3>.

MARENGO, J. A.; GALDOS, M. V.; CHALLINOR, A.; CUNHA, A. P.; MARIN, F. R.; VIANNA, M. D. S.; ALVALA, R. C. S.; ALVES, L. M.; MORAES, O. L.; BENDER, F. Drought in Northeast Brazil: a review of agricultural and policy adaptation options for food security. **Climate Resilience and Sustainability**, v. 1, p. e17, 2022. <https://doi.org/10.1002/clr2.17>.

MARIOSA, P. H.; PEREIRA, H. D. S.; MARIOSA, D. F.; FALSARELLA, O. M.; CONTI, D. D. M.; DE BENEDICTO, S. C. Family Farming and Social and Solidarity Economy Enterprises in the Amazon: Opportunities for Sustainable Development. **Sustainability**, v. 14, n. 17, p. 10855, 2022. <https://doi.org/10.3390/su141710855>.

MARTINS, M. A.; HOCHRAINER-STIGLER, S.; PFLUG, G. Vulnerability of Agricultural Production in the Brazilian Semi-Arid: An Empirical Approach Including Risk. **IDRIM Journal**, v. 7, n. 1, p. 1-23, 2017.

MARTINS, M. A.; TOMASELLA, J.; DIAS, C. G. Maize yield under a changing climate in the Brazilian Northeast: Impacts and adaptation. **Agricultural Water Management**, v. 216, p. 339-350, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.02.011>.

MBOW, C.; ROSENZWEIG, C.; BARIONI, L. G. *et al.* Food Security. *In*: SHUKLA, P. R.; SKEA, J.; CALVO BUENDIA, E. *et al.* (Eds.). **Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems**. Cambridge: Cambridge University Press, 2019, p. 437-550. <https://doi.org/10.1017/9781009157988.007>

MESQUITA, P.; FOLHES, R. T.; CAVALCANTE, L.; RODRIGUES, L. V. DE N.; SANTOS, B. A.; RODRIGUES-FILHO, S. Impacts of the Fomento Program on Family Farmers in the Brazilian Semi-Arid and its relevance to climate change: a case study in the region of Sub medio São Francisco. **Sustainability in Debate**, v. 11, n. 1, p. 211-225, 2020. <https://doi.org/10.18472/SustDeb.v11n1.2020.30505>

MICCOLIS, A.; PENEIREIRO, F.; VIEIRA, D.; MARQUES, H.; HOFFMANN, M. Restoration Through Agroforestry: Options for Reconciling Livelihoods with Conservation in the Cerrado and Caatinga Biomes in Brazil. **Experimental Agriculture**, v. 55, n. S1, p. 208-225, 2019a. <https://doi.org/10.1017/S0014479717000138>

MICCOLIS, A.; ROBIGLIO, V.; CORNELIUS, J. P.; BLARE, T.; CASTELLANI, D. Oil palm agroforestry: fostering socially inclusive and sustainable production in Brazil. *In*: JEZEER, R.; PASIECZNIK, N. (Eds.). **Exploring inclusive palm oil production**. Wageningen: Tropenbos International, 2019b.

MORTON, J. F. The impact of climate change on smallholder and subsistence agriculture. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 104, p. 19680-19685, 2007. <https://doi.org/10.1073/pnas.0701855104> .

MÜLLER, C.; FRANKE, J.; JÄGERMEY, J. *et al.* Exploring uncertainties in global crop yield projections in a large ensemble of crop models and CMIP5 and CMIP6 climate scenarios. **Environmental Research Letters**, v. 16, n. 3, p. 034040, 2016. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abd8fc>.

NASA CENTER FOR CLIMATE SIMULATION - NASA. **NASA Earth Exchange Global Daily Downscaled Projections (NEX-GDDP-CMIP6)**. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.7917/OFSG3345>. Acesso em 16 fev. 2023.

NASCIMENTO, D. R.; ALVES, L. N.; SOUZA, M. L. Implantação de sistemas agroflorestais para a recuperação de áreas de preservação permanente em propriedades familiares rurais da região da Transamazônica, Pará. **Revista Agricultura Familiar: Pesquisa, Formação e Desenvolvimento**, v. 13, n. 2, p. 103-120, 2019. <http://dx.doi.org/10.18542/raf.v13i2.8711>

NOBRE, C. A.; SAMPAIO, G.; BORMA, L. S.; CASTILLA-RUBIO, J. C.; SILVA, J. S.; CARDOSO, M. Land-use and climate change risks in the Amazon and the need of a novel sustainable development paradigm. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 113, n. 39, p. 10759-10768, 2016. <https://doi.org/10.1073/pnas.1605516113>.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS - ONU-Brasil. 2023. **Objetivos do Desenvolvimento Sustentável**. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/2>. Acesso em 23 fev. 2023.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS - ONU-Mulheres. **How gender inequality and climate change are interconnected**. 2022. Disponível em: <https://www.unwomen.org/en/news-stories/explainer/2022/02/explainer-how-gender-inequality-and-climate-change-are-interconnected>. Acesso em: 23 fev. 2023.

OSUNA, V.; BÖRNER, J.; CUNHA, M. Scoping Adaptation Needs for Smallholders in the Brazilian Amazon: A Municipal Level Case Study. **Change and Adaptation in Socio-Ecological Systems**, v. 1, n. 1, p. 12-25, 2014. <https://doi.org/10.2478/cass-2014-0002>

PAPALEXIOU, S. M.; RAJULAPATI, C. R.; CLARK, M. P.; LEHNER, F. Robustness of CMIP6 historical global mean temperature simulations: Trends, long-term persistence, autocorrelation, and distributional shape. **Earth's Future**, v. 8, p. e2020EF001667, 2020. <https://doi.org/10.1029/2020EF001667>.

PEREIRA, C. N.; DE CASTRO, C. N. **Expansão da produção agrícola, novas tecnologias de produção, aumento de produtividade e o desnível tecnológico no meio rural.** Texto para Discussão, No. 2765. 2022. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). <https://doi.org/10.38116/td2765>.

PINHO, P. F.; ANJOS, L. J. S.; RODRIGUES-FILHO, S.; SANTOS, D. V.; TOLEDO, P. M. Projections of Brazilian biomes resilience and socio-environmental risks to climate change. **Sustainability in Debate**, v. 11, n. 3, p. 225–259, 2020. <https://doi.org/10.18472/SustDeb.v11n3.2020.33918>.

RORATO, A. C.; ESCADA, M. I. S.; CAMARA, G.; PICOLI, M. C. A.; VERSTEGEN, J. A. Environmental vulnerability assessment of Brazilian Amazon Indigenous Lands. **Environmental Science & Policy**, v. 129, p. 19–36, 2022.

ROY, J.; TSCHAKERT, P.; WAISMAN, H.; *et al.* Sustainable Development, Poverty Eradication and Reducing Inequalities. In: MASSON-DELMOTTE, V.; ZHAI, P.; PORTNER, H. O.; *et al.* (Eds.). **Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty.** Geneva: World Meteorological Organization, 2018, p. 445–538.

SANTOS, C. V.; OLIVEIRA, A. F.; FERREIRA FILHO, J. B. S. Potential impacts of climate change on agriculture and the economy in different regions of Brazil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 60, n. 1, p. e220611, 2022. <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9479.2021.220611>.

SANTOS, E. A.; FORTINI, R. M.; CARDOSO, L. C. B.; ZANUNCIO, J. C. Climate change in Brazilian agriculture: vulnerability and adaptation assessment. **International Journal of Environmental Science and Technology**, 2023 (in press). <https://doi.org/10.1007/s13762-022-04730-7>.

SANTOS, G. R.; SILVA, R. P.; SANTANA, A. S. Agricultura na Amazônia: desflorestamento, escala e desafios à produção sustentável. In: SANTOS, G. R.; SILVA, R. P. (Orgs.). **Agricultura e diversidades: trajetórias, desafios regionais e políticas públicas no Brasil.** Rio de Janeiro: IPEA, 2022.

SCHNITTER, R; BERRY, P. The Climate Change, Food Security and Human Health Nexus in Canada: A Framework to Protect Population Health. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 16, n. 14, p. 2531, 2019. <https://doi.org/10.3390/ijerph16142531>.

SIGNOR, D.; MEDEIROS, T. A. F.; MORAES, S. A.; CORRÊA, L. C.; TOMAZI, M.; MOURA, M. S. B.; DEON, M. Soil greenhouse gases emissions in a goat production system in the Brazilian semiarid region. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 52, p. e72371, 2022. <https://doi.org/10.1590/1983-40632022v5272371>.

SILVA, R. M. A.; NUNES, E. M. Agricultura familiar e cooperativismo no Brasil: uma caracterização a partir do Censo Agropecuário de 2017. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 61, n. 2, p. e252661, 2023. <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9479.2021.252661>.

TANURE, T. M. P.; MIYAJIMA, D. N.; MAGALHÃES, A. S.; DOMINGUES, E. P.; CARVALHO, T. S. The Impacts of Climate Change on Agricultural Production, Land Use and Economy of the Legal Amazon Region Between 2030 and 2049. **Economia**, v. 21, n. 1, p. 73–90, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.econ.2020.04.001>.

TANURE, T. M. P.; DOMINGUES, E. P.; MAGALHÃES, A. S. The Regional Economic Impacts of Climate Change on Family Farming and Large-Scale Agriculture in Brazil. **Climate change Economics**, 2023 (in press). <https://doi.org/10.1142/S2010007823500124>.

TANURE, T. M. P., DOMINGUES, E. P., & MAGALHÃES, A. S. Regional impacts of climate change on agricultural productivity: evidence on large-scale and family farming in Brazil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 62, n. 1, p. e262515, 2024. <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2022.262515>.

THOMAS, K.; HARDY, R. D.; LAZRUS, H.; *et al.* Explaining differential vulnerability to climate change: A social science review. **WIREs Climate Change**, v. 10, n. 2, p. e565, 2019. <https://doi.org/10.1002/wcc.565>.

VALE, T. M. C.; SPYRIDES, M. H. C.; ANDRADE, L. M. B.; BEZERRA, B. G.; SILVA, P. E. Subsistence Agriculture Productivity and Climate Extreme Events. **Atmosphere**, v. 11, p. 1287, 2020. <https://doi.org/10.3390/atmos11121287>.

VASCONCELOS, M. A. D.; PEREIRA, H. S.; LOPES, M.; GUIMARÃES, D. F. D. S. Impacts of Climate Change on the Lives of Riverine Farmers on the Lower Rio Negro, Amazon. **Atmosphere**, v. 13, p. 1906, 2022. <https://doi.org/10.3390/atmos13111906>.

VIEIRA, R. M. D.; TOMASELLA, J.; BARBOSA, A.; MARTINS, M. A.; RODRIGUEZ, D. A.; REZENDE, F. S. D.; CARRIELLO, F.; SANTANA, M. D. O. Desertification risk assessment in Northeast Brazil: current trends and future scenarios. **Land Degradation & Development**, v. 32, n. 1, p. 224–240, 2021. <https://doi.org/10.1002/ldr.3681>.

ZABANIOTOU, A.; SYRGIANNIS, C.; GASPERIN, D.; DE HOYOS GUEVERA, A. J.; FAZENDA, I.; HUISINGH, D. From Multidisciplinarity to Transdisciplinarity and from Local to Global Foci: Integrative Approaches to Systemic Resilience Based upon the Value of Life in the Context of Environmental and Gender Vulnerabilities with a Special Focus upon the Brazilian Amazon Biome. **Sustainability**, v. 12, p. 8407, 2020. <https://doi.org/10.3390/su12208407>.

