

# Mudanças do clima e agropecuária: impactos, mitigação e adaptação. Desafios e oportunidades

*EDUARDO DELGADO ASSAD<sup>I</sup>*

*MARIA LEONOR RIBEIRO CASIMIRO LOPES ASSAD<sup>II</sup>*

## Introdução

**Q**UE IMPACTOS poderão ocorrer na agricultura brasileira em decorrência da emissão de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera, notadamente o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e outros gases como metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O)? O que está acontecendo e o que poderá acontecer na agricultura, se a temperatura aumentar e se ocorrerem mudanças na distribuição e na intensidade de chuvas no Brasil?

Essas questões traduzem a inquietação da sociedade brasileira com relação aos reflexos sociais e econômicos das mudanças climáticas em curso, particularmente no setor agrícola. Para respondê-las, é preciso i) avaliar as informações sobre a evolução do clima; ii) analisar longas séries de dados de temperatura, bem como de evidências de efetivas mudanças climáticas; e iii) com o auxílio de modelos meteorológicos, quantificar os efeitos da elevação de temperatura na produção agrícola e seus reflexos no zoneamento de riscos climáticos no Brasil e na vulnerabilidade da produção pecuária.

A discussão sobre as mudanças do clima tem reflexo cada vez maior em toda sociedade. Dados apontam que a chuva está diminuindo, que o inverno é mais intenso e que determinados fenômenos, como vendavais, furacões e chuvas de granizo, acontecem com maior frequência (IPCC, 2023). O que mudou?

A capacidade do homem de poluir a atmosfera aumentou, e muito, desde o início da Revolução Industrial nos idos de 1780. Florestas e outros tipos de vegetação natural têm sido derrubadas em ritmo acelerado e substituídas por áreas agrícolas. No Cerrado, as atividades agropecuárias em 2022 ocupavam metade do bioma (50%); em 1985, eram (34%); e no período de 1985 a 2022, 45 milhões de hectares de vegetação natural nos Cerrados brasileiros foram substituídos por culturas intensivas ou pastagens (MapBiomass, 2023).

## **Por que a meteorologia, nas últimas duas décadas, tem estado em evidência?**

Primeiro, porque a capacidade de se coletar dados climáticos aumentou exponencialmente; e segundo, porque o desenvolvimento e os produtos de modelos de previsão têm oferecido informações importantes para diferentes setores econômicos, como turismo, aviação, agricultura, defesa civil e transporte. Determinados fenômenos climatológicos, como “El Niño” ou “La Niña”, apesar da sua difícil previsão, são bem conhecidos e monitorados com frequência quinzenal (CPC, 2024). Os efeitos desses dois fenômenos são muito conhecidos e, portanto, com um acompanhamento quinzenal e avaliação dos modelos preditivos é possível evitar perdas maiores, principalmente na agricultura, que no Brasil é predominantemente de sequeiro, ou seja, dependente de chuva natural.

A mídia divulga periodicamente a previsão do tempo e faz alertas climáticos, fundamentados em pesquisas e modelos meteorológicos. Bolsas de cereais têm as atenções voltadas para os possíveis “sinistros climáticos”, que podem ocorrer alterando significativamente os mercados de importação e exportação de alimentos. Portanto, quando se fala em mudanças do clima, toda a sociedade é afetada e a correta informação deve ser repassada, procurando-se evitar tumultos desnecessários e incertezas que podem ter reflexos econômicos e sociais incalculáveis.

Uma característica importante, que impede ações mais efetivas sobre a adaptação e mitigação das mudanças do clima na agricultura, é o fato de que o setor agrícola é extremamente conservador. Essa característica é identificada em quase todos os países do mundo. As mudanças são lentas no que diz respeito às ameaças quanto ao desequilíbrio ambiental. Desde o início da revolução verde nos anos 1970, é defendido que a tecnologia resolve ou resolverá todos os problemas ambientais que possam afetar a agricultura (Alves et al., 2016, p.65). No Brasil não é diferente. Tanure et al. (2024, p.14), analisando as percepções de 273 agricultores participantes do Projeto Rural Sustentável,<sup>1</sup> mostram que 40% têm um conhecimento superficial sobre as mudanças do clima, e 50% têm conhecimento incompleto sobre o assunto. Nos Estados Unidos, Morris e Jaquet (2024, p.1) estudaram como a indústria de alimentos, especialmente a de produtos oriundos da pecuária, vem obstruindo a ciência do clima para mostrar que não há efeito da mudança do clima na produção de carne. Por outro lado, a pecuária brasileira aumentou sua produtividade e, desde 2015, vem adotando práticas como a chamada pecuária regenerativa (Resende et al., 2021, p.24), com baixo impacto nas emissões de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O. Nessa mesma direção, Alves et al. (2015) publicaram as diretrizes da Carne Carbono Neutro, e Almeida e Alves (2020) publicaram as diretrizes técnicas para produção de carne baixo carbono. Ambos os conceitos são adotados por aqueles pecuaristas que têm uma percepção mais realista da emergência climática que a agricultura vive hoje. Essa posição da pecuária brasileira aos poucos se coloca num patamar de protagonismo com relação às mudanças do clima. O próximo e difícil passo é o

convencimento da redução do desmatamento, principal vetor de emissões GEE no Brasil (SEEG, 2019).

A agricultura brasileira, tanto tropical como de áreas temperadas, depende do regime de chuvas. Qualquer alteração no regime de chuvas, associado ao aumento de temperatura, vai provocar fortes impactos na produção de alimentos no Brasil. É importante mostrar como e onde esses fenômenos estão ocorrendo e como podem alterar nossa economia, cuja produção da agropecuária responde por 25% do Produto Interno Bruto (PIB) nacional, e é responsável pelo fornecimento de alimentos no país.

### **Referencial teórico**

A agricultura é altamente dependente do clima, e assim, as mudanças do clima afetam a produtividade e os ganhos financeiros, colocando em risco as expectativas de crescimento (Ray et al., 2015). Para manter o crescimento da produção e da produtividade no setor agrícola e, ao mesmo tempo, garantir a eficiência e a sustentabilidade, o Brasil precisa enfrentar os impactos das mudanças do clima, salvaguardar o fornecimento de serviços ecossistêmicos e reduzir as emissões de GEE. Além disso, como a atividade agrícola também depende de fatores sociais, econômicos e políticos, o uso de estratégias de adaptação depende da tomada de decisões pelo agricultor, e não apenas da disponibilidade e do conhecimento que já existe sobre a eficácia da estratégia (Margulis; Dubeux, 2011).

Para entender os impactos das mudanças do clima na agricultura, é preciso primeiramente conhecer a base de tudo que define a eficiência da produção agrícola vegetal. Essa base é a fotossíntese. São várias as referências científicas no assunto e, resumindo, os principais fatores responsáveis pela eficiência da fotossíntese são luz, água, concentração de  $\text{CO}_2$  e temperatura<sup>2</sup> (Majerowicz, 2004). Nas plantas fotossinteticamente ativas, existem várias classificações, entretanto as mais importantes para agricultura são as conhecidas com plantas C3 e C4.<sup>3</sup> Ambas têm reações diferenciadas quanto ao aumento da concentração de  $\text{CO}_2$ , à redução de água e ao aumento da temperatura e têm respostas diferentes aos fatores que afetam a produção agrícola, que são de ordem biótica, estresse térmico e estresse hídrico. De uma maneira geral, essas plantas têm seus limites bem estabelecidos quanto à temperatura e à produção de biomassa. As principais plantas C3 de importância econômica são arroz, trigo, soja, batata, algodão, café, tomate, uva, mandioca e maçã, dentre outras. Existem mais de 7.500 plantas C4, mas aquelas de maior importância para a agricultura brasileira são cana-de-açúcar, milho e sorgo. O conjunto de plantas C3 e C4 de importância econômica no Brasil respondem por 99% do valor da produção da agricultura brasileira.

Com o aumento da temperatura e da deficiência hídrica, que tem forte reflexo na produção de biomassa verde e de grãos, o impacto na agricultura de uma maneira geral vem aumentando a cada ano. Como apontado por Assad et al. (2019a), a interferência no clima local envolve alterações na precipitação, nas

temperaturas máxima, média e mínima, na umidade relativa do ar, que diminui, e nos ventos na superfície. As alterações nessas variáveis climáticas promovem o crescimento na evapotranspiração das plantas, o qual acelera a deficiência hídrica e aumenta a demanda de água das plantas. Havendo redução das chuvas, associada ao aumento de temperatura, as plantas *secam* mais rápido, promovendo a redução da produtividade. Nobre et al. (2014) indicam os possíveis cenários que podem ocorrer no Brasil, para cada região, considerando as alterações de chuva e precipitação pluviométrica. Estudos mostram o impacto da temperatura no desenvolvimento e na produtividade das culturas (Bergamaschi; Matzenauer, 2014; Cruz et al., 2011; Heinemann et al., 2009). As mudanças na temperatura influenciam principalmente a duração do ciclo da cultura, uma vez que cada espécie e variedade tem faixas de temperatura ideais para seu desenvolvimento. Temperaturas fora dessas faixas comprometem o desenvolvimento.

Temperaturas elevadas afetam menos a fotossíntese de plantas C4, como milho e cana-de-açúcar, do que de plantas C3, como a soja. Isso porque as plantas C3 têm maior fotorrespiração. Assad et al. (2019a) fizeram uma revisão detalhada dos efeitos da temperatura nas culturas de soja, feijão, milho, café, cana-de-açúcar, laranja e cacau, indicando como o aumento da temperatura pode afetar o desenvolvimento e a produtividade destas culturas.

A disponibilidade de água no solo, que depende especialmente da precipitação e da evapotranspiração, é outro fator importante para a produtividade das culturas. Dessa forma, as alterações na frequência e na intensidade das chuvas em cada região, conforme previsto pelos modelos de mudança climática, sofrerão graves consequências, principalmente para as culturas de sequeiro, que são totalmente dependentes das chuvas.

No caso de longos períodos de seca, o estresse hídrico pode levar à redução da produtividade. No caso da soja, déficits hídricos significativos, acentuados por temperaturas elevadas durante a floração e o enchimento de grãos, causam alterações fisiológicas na planta, como fechamento de estômatos, secamento de folhas e, conseqüentemente, a perda de produtividade, aumento na queda prematura de flores e vagens, reduzindo o número de vagens saudáveis e um aumento de vagens vazias (Farias et al., 2009).

O efeito do déficit hídrico pode ser aumentado se combinado com o aumento da temperatura (Assad et al., 2013). Por outro lado, grandes volumes de chuva podem reduzir a produtividade das culturas devido à saturação do solo e, portanto, um atraso na colheita. Temperatura média e a distribuição espacial da precipitação durante a estação de plantio explicam mais de 30% da variação na produtividade das culturas (Lobell; Field, 2007).

Na Figura 1, estão sumarizados os efeitos das mudanças do clima na agricultura em diversos parâmetros, como o efeito no clima local, nos eventos extremos, efeitos bióticos, efeitos nos fatores socioeconômicos, e finalmente os efeitos nos solos (Assad et al., 2019a).



Fonte: Assad et al. (2019a).

Figura 1 – Efeitos das mudanças do clima na agricultura.

De uma maneira geral, as oscilações climáticas no Brasil e a observação de deficiência hídrica têm uma relação importante com a presença do fenômeno El Niño, responsável por aumento de chuvas na região Sul e seca no Norte da Amazônia e na região Nordeste.

Desde 1950, El Niño e La Niña são monitorados no oceano. Nesse período de 74 anos foram identificadas 73 indicações de anomalias, sendo 26 positivas (El Niño) e 25 negativas (La Niña). Concentrando a análise nas anomalias positivas, dessas, onze El Niño foram considerados fracos, sete moderados, cinco fortes e quatro muito fortes, aqui já incluindo o ano 2023/2024.

### *Como é feita esta classificação?*

O Oceanic Niño Index (ONI) se tornou o padrão que a NOAA usa para classificar eventos El Niño (quente) e La Niña (frio) no Pacífico tropical oriental.

Se foram observados quatro eventos fortes, nos anos 1982-1983, 1997-1998, 2015-2016, e agora 2023-2024, por que as perdas na agricultura foram consideradas como intensas e fortes, somente no ano 2023-2024?

O fato é que estudos recentes mostraram que as mudanças do clima tiveram peso maior do que o El Niño, chegando a quantificar que, 25% dos efeitos de seca na Amazônia são decorrentes do El Niño e 75% são decorrentes das mudanças do clima. Em 2024 um grupo significativo de agricultores solicitou a negociação de dívidas alegando perdas por conta do fenômeno El Niño. Co-

locar a culpa no El Niño é um erro e um oportunismo característico daqueles que buscam os benefícios do governo federal há anos. É necessário adaptar-se às mudanças do clima e reconhecer que estamos numa emergência climática, desafio para agricultores bem-informados e profissionais.

Em nota técnica sobre o El Niño, o Cemaden (2023) indica o possível aumento de temperatura, com valores superiores a 20% as médias anuais, consistente com a ocorrência do El Niño. Segundo a nota técnica,

A previsão de temperatura mostra mais de 70% de probabilidade de ocorrência de valores superiores à média no centro-norte do Brasil, que, inclusive, podem estar classificados dentro dos 20% mais quentes registrados historicamente. Esta previsão é consistente com um cenário atual do El Niño ocorrendo simultaneamente ao reconhecido aumento da temperatura global devido à emissão de gases de efeito estufa.

O que chama a atenção novamente, é por que somente o El Niño de 2024, considerado forte, provocou perdas na agricultura da região Centro-Oeste, enquanto em anos anteriores tais perdas não foram observadas? Fica claro que os agricultores brasileiros ainda não levam em consideração os efeitos das mudanças do clima na perda de produção. Tal posicionamento não ajuda muito no estabelecimento de políticas públicas que visem minimizar os efeitos das mudanças do clima na agricultura.

A discussão sobre mudanças do clima e impactos na agricultura vai longe. Impressionante como a posição dos negacionistas ainda impera neste setor. Tannure et al. (2024) indicam a baixa percepção dos agricultores sobre as mudanças do clima. Entre desconhecer e ter um conhecimento superficial, a população do setor com este tipo de posição é de mais e 40%. Nos Estados Unidos, Morris e Jacquet (2024, p.1) mostram o esforço que é feito pela indústria da carne para obstruir o entendimento das mudanças do clima e impedir a adoção das políticas de adaptação e mitigação naquele país. É um fenômeno universal neste setor da economia extremamente conservador.

### **Mudanças do clima e doenças de plantas**

Em 2008, quando as projeções do IPCC (2007) apontavam, com um grau de certeza muito alto (90%), que a atividade humana era a responsável pelas alterações no clima, foram publicados no Brasil dois trabalhos importantes no tema: um número especial da revista *Scientia Agricola* e o livro *Mudanças climáticas: impactos sobre doenças de plantas no Brasil*, organizado por Raquel Ghini e Emília Hamada, pesquisadoras da Embrapa Meio Ambiente.

Nos 14 artigos da *Scientia Agricola*, que teve editorial assinado por Manava V.K. Sivakumar – na época Chefe da Divisão de Meteorologia Agrícola da OMM (Organização Mundial de Meteorologia) –, o objetivo foi mostrar o estado da arte da interação entre duas importantes ciências agrícolas: a Agrometeorologia e a Fitopatologia. No livro *Mudanças climáticas: impactos sobre doenças de plantas no Brasil*, as discussões apresentadas em vários capítulos mostram que

as mudanças climáticas representavam uma séria ameaça à produção agrícola, pois podem alterar a incidência das doenças de plantas e resultar em impactos negativos à agricultura, fosse ela empresarial ou familiar. Dezesesseis anos depois multiplicaram os artigos científicos e as notícias sobre efeitos do aumento de temperatura na incidência de doenças de plantas, que apontam, inclusive, uma realocação de plantios de alguns alimentos, tradicionais em determinadas regiões, para outros ambientes mais propícios.

A rigor, a importância das condições ambientais para a ocorrência de doenças de plantas é conhecida há séculos e apontavam que o ambiente pode ter efeitos diretos e indiretos sobre a planta hospedeira, sobre o patógeno e sobre a interação entre eles, afetando também outros agentes de controle biológico e vetores que intermediam a transmissão da doença, como insetos, fungos, nematoides e ácaros. Em 2008, Lopes e colaboradores apontavam no capítulo 3 do livro organizado por Ghini e Hamada que a maioria dos estudos sobre o impacto das mudanças climáticas em doenças de plantas, em especial o aumento de temperatura, eram baseados em modelos de simulação.

De 2008 para cá, as mudanças do clima se tornaram cada vez mais evidentes, mas assim como seus efeitos na produtividade das principais culturas agrícolas, o conhecimento sobre o efeito na incidência de doenças de plantas, em especial no Brasil, não aumentou na mesma proporção. Recentemente, Singh et al. (2023) apresentaram uma proposta ao modelo do triângulo da doença (Figura 2), que acrescenta o microbioma vegetal, fator essencial que influencia as doenças das plantas, e aponta também fatores como uso de agroquímicos e de monoculturas, supressão dos recursos naturais e o comércio internacional como condicionadores de doenças de plantas cultivadas.

Entretanto, ainda que alguns artigos e revisões tenham sido publicados, apontando efeitos das mudanças do clima em culturas tropicais, esta produção ainda é pequena se comparada àquela produzida para culturas temperadas. Em 2011, Ghini e colaboradores publicaram uma importante revisão sobre conhecimentos de doenças em culturas tropicais afetadas pelas mudanças climáticas (Tabela 1). Ainda são poucas as evidências de aumento de doenças de plantas e as mudanças do clima. Entretanto várias medições estão sendo feitas no sentido de verificar a incidência, concentração e perda de produtividade em algumas culturas.

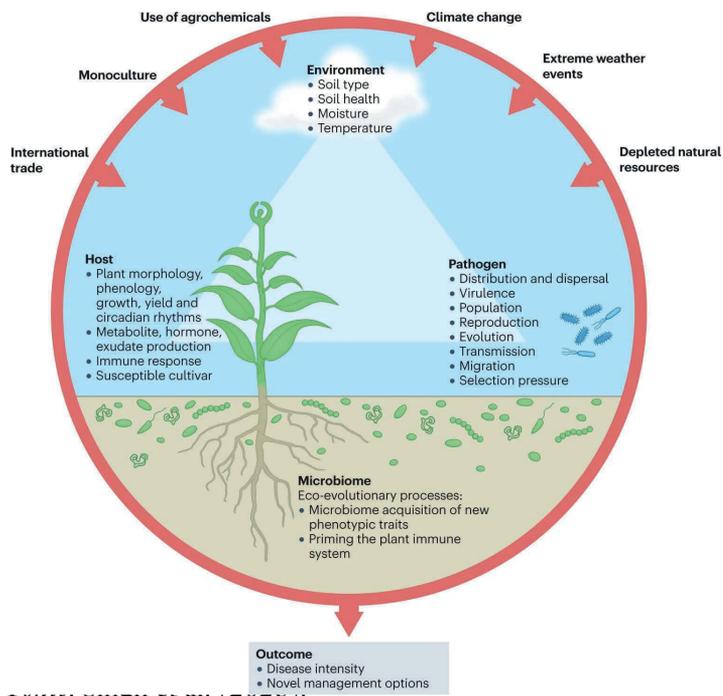


Figura 2 – Um novo ângulo no paradigma do triângulo da doença que considera o microbioma vegetal como um fator essencial que influencia as doenças das plantas.

Tabela 1 – Efeitos potenciais das mudanças climáticas nas doenças tropicais em algumas culturas

Cultura	Doença	Causas
Abacaxi	<i>Fusarium subglutinans</i> f. sp. <i>ananas</i>	Aumento de temperaturas
Banana	<i>Mycosphaerella fijiensis</i>	Redução da umidade relativa
	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>ubense</i>	Aumento das temperaturas e de períodos de seca
Café	<i>Hemileia vastatrix</i>	Aumento das temperaturas no inverno e da concentração de CO <sub>2</sub>
	<i>Meloidogyne incognita</i>	Aumento das temperaturas
Cajueiro	<i>Oidium anacardier</i> , <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> , <i>Colletotrichum acutatum</i> , <i>Pilgeriella anacardii</i>	Aumento de precipitação

<b>Cana-de-açúcar</b>	<i>Ustilago scitaminea</i> , <i>SCMV</i> <i>Potyvirus</i> , <i>Xanthomonas albilineans</i> , <i>Leifsonia xyli subsp. xyli</i>	Disseminação pelo uso de material infectado para propagação vegetativa ou instrumento de corte infectado
	<i>Ceratocystis paradoxa</i>	Aumento das temperaturas
<b>Citros</b>	<i>Xylella fastidiosa</i> (clorose variegada dos citros)	Aumento da população de cigarrinhas (vetor) e conseqüentemente da doença
	' <i>Candidatus Liberibacter</i> ' spp. (Greening), <i>Citrus leprosis virus</i> (CiLV)	
	<i>Guignardia citricarpa</i> , <i>Colletotrichum acutatum</i>	Aumento das temperaturas
<b>Coqueiro</b>	<i>Camarotella torrendiella</i> , <i>Camarotella crocomiae</i> , <i>Phytophthora</i> spp., <i>Bipolaris incurvata</i> , <i>Phytophthora</i> spp.	Redução da precipitação e aumento da temperatura
<b>Eucalyptus</b>	<i>Cylindrocladium quinqueseptatum</i>	Aumento das temperaturas e da precipitação
	<i>Puccinia psidii</i>	
	<i>Ralstonia solanacearum</i> , <i>Xanthomonas</i> sp., <i>Quambalaria eucalypti</i>	Aumento das temperaturas
	<i>Ceratocystis fimbriata</i> , <i>Cylindrocladium</i> sp., <i>R. solanacearum</i> , <i>Xanthomonas</i> sp	Aumento das temperaturas e plantas estressadas
<b>Mamão</b>	<i>Asperisporium caricae</i>	Aumento das temperaturas e redução da umidade relativa
<b>Mandioca</b>	<i>Xanthomonas axonopodis</i> pv. <i>manihotis</i>	Depende da região
<b>Videira</b> <sup>1</sup> L. Angelotti et al. (2017).	<i>Plasmopara viticola</i>	Severidade reduzida com aumento da temperatura

Fonte: Adaptado de Ghini et al. (2011).

### Mudanças do clima e impactos na produção de grãos

Considerando a relevância do setor agropecuário brasileiro, o planejamento de suas atividades e proposição de políticas públicas deve ser feito de forma a manter modelos sustentáveis ao longo de décadas. As condições edafoclimáticas brasileiras variam em toda sua extensão; portanto, conhecer essa variação e modelá-la ao longo do tempo e do espaço é importante para avaliar as áreas que podem alcançar maior ou menor produtividade, bem como seu risco, principalmente relacionado a fatores climáticos. Esse conhecimento diz

respeito tanto a entidades governamentais quanto privadas, pois seus impactos negativos podem deteriorar o desenvolvimento da sociedade nos aspectos econômicos, sociais e ambientais. Por outro lado, estratégias bem estruturadas trazem oportunidades de escolher uma melhor gestão para áreas de maior risco e melhorar a alocação de investimentos para aquelas com menor risco, por exemplo.

A simulação das variações climáticas utilizando modelos agrometeorológicos deve ser temporal e espacialmente bem dimensionada para melhorar as ações de tomada de decisão. Assim, modelos de balanço hídrico podem ser aplicados em todo o país com o objetivo de caracterizar o volume de água disponível para exploração agrícola. Esta prática é muito comum na avaliação de riscos climáticos para agricultura.

Desde 1996, o Brasil adota uma política pública conhecida como Zonamento Agrícola de Risco Climático (Zarc), que indica para todos os 5.568 municípios brasileiros o que plantar, quando plantar e onde plantar, com nível de risco de 20%. Ou seja, de uma maneira geral quem seguir essas indicações poderá ter 80% de chance de sucesso na colheita da lavoura. Esse sistema utiliza 30 anos de dados diários de chuva e temperatura, que vão sendo atualizados ao longo dos anos. Uma estratégia para buscar a inferência das mudanças do clima é de a cada ano, incorporar os dados do ano anterior e eliminar os dos do primeiro ano de simulação. Com isso é possível incorporar as alterações climáticas que estão ocorrendo. Uma discussão premente é, mantém-se a série de 30 anos, ou reduz-se essa série para 10 anos, considerando a velocidade com que as mudanças do clima estão ocorrendo?

Os dados utilizados como entrada no modelo (Zarc), utilizados para estimativa de perdas de produtividade, foram extraídos de dois modelos meteorológicos distintos, um focado na modelagem meteorológica do passado (Xavier et al., 2016) e o outro com o objetivo de modelar as tendências futuras dos fatores climáticos, principalmente temperatura e precipitação. Os ganhos de água são contabilizados pela precipitação e as perdas pela evapotranspiração, considerando a variância temporal em intervalos sequenciais e decadais. Além disso, são considerados três cenários do sistema radicular, com profundidade rasa (75 mm), média (100 mm) e mais profunda (125 mm) do volume de água. Devido ao grande volume de dados, todas as etapas de processamento foram conduzidas por meio de uma estrutura que automatiza o cálculo do balanço hídrico em todas as mais de 11 mil estações meteorológicas virtuais do chamado modelo (Xavier et al., 2022). Os produtos resultantes foram exportados como resultados de uma única estação, para cada valor de capacidade hídrica disponível (representando a profundidade do sistema radicular) e para cada década, bem como para o todo. Para se estimar as perdas de produtividade futuras, são utilizados os dados do Modelo CIMIP6 corrigido. Assim é possível, utilizando a base metodológica do Zarc, verificar o impacto na produtividade nos próximos anos (2020 a 2050)

Apesar dos grandes avanços científicos no uso do geoprocessamento de imagens de satélite para estimar a área de culturas agrícolas, ainda não existe um método para avaliar as perdas na produtividade. Assim, são utilizados os seguintes parâmetros de culturas:

- Duração do ciclo vegetativo, subdividido em fases fenológicas, pela identificação de períodos críticos (estágios), como período inicial, desenvolvimento da cultura, meia estação e final da estação;
- Kc (coeficiente de cultura), como método de definição da demanda de água da planta;
- Profundidade do sistema radicular, particularmente importante para estimar a capacidade de água disponível (CAD).

A primeira vez que esse método foi utilizado para avaliar perdas na agricultura foi em Assad e Pinto (2008), utilizando o modelo Precip do IPCC. As avaliações das perdas foram feitas até o ano de 2070. Já em 2007 o modelo indicava que em 2020 poderia haver perdas em grãos na região Sul no valor de 7 bilhões de reais. Nesse caso, houve um erro no valor absoluto. Segundo a Conab (2023), em 2020 a projeção do montante perdido no Brasil, correspondeu a 36,7 milhões de toneladas. Na cotação semanal de março de 2020 (21 a 25 de março de 2020), o preço pago ao produtor, de acordo com Conab (2023), considerando as devidas proporções perdidas para cada produto, o valor monetário das perdas correspondeu a R\$ 84,8 bilhões.

Os cenários de avaliação de perdas foram se ajustando em função dos novos modelos climáticos lançados pelo Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Assad et al. (2016), a partir relatório do IPCC, e utilizando as simulações dos modelos mais recentes referentes aos cenários das mudanças do clima até o ano de 2100, fizeram projeções de impactos para as principais culturas brasileiras e que dizem respeito à agricultura familiar, como milho, milho safrinha, feijão e arroz, e de quão vulneráveis estão estas culturas se a temperatura continuar subindo nas atuais taxas (0,3 °C) por década. Ao mesmo tempo, foi feito um esforço de caracterizar os eventos extremos que vêm ocorrendo com maior frequência nos últimos anos. Projeções para os próximos anos referentes à frequência de ocorrência de temperaturas diárias superiores a 34 °C foram feitas para todo o país, e atingem todos os agricultores. Isso foi feito para as chuvas extremas, ou seja, estimadas as frequências de ocorrência de chuvas intensas em todo o país, o que tem consequências imediatas na erosão dos solos, em perdas de fertilizantes e na desestruturação dos solos, além de perda de produtividade das culturas. Todas as simulações foram feitas a partir dos modelos do último relatório do IPCC AR5, com os cenários extremos RCP 4.5 e RCP 8.5. Os resultados desta simulação feita em 2016, manteve as tendências de perdas acentuadas na agricultura, que segundo a Conab seguiu um padrão de 15% das perdas na safra.

No relatório do INCT – 2021, no componente segurança alimentar, com a avaliação dos resultados com o modelo HadGEM3-GC31-MM, os resultados parecem mais pessimistas do que os do modelo CIMIP5 HADgem2-ES. As perdas de rendimento foram maiores do que as obtidas no modelo anterior.

A Tabela 2 mostra os resultados obtidos com o modelo HadGEM3-GC31-MM do CIMIP6 e as respectivas tendências de perdas na agricultura até o ano de 2050. No caso da soja nos cerrados a perda estimada na produtividade é de 26% no período.

Tabela 2 – Resultados obtidos com o modelo HadGEM3-GC31-MM do CIMIP6 e as respectivas tendências de perdas na agricultura até o ano de 2050

<b>MODELO: HADGEM3 - GC - CMIP 6 - RCP 8.5</b>											
<b>Produtividade (kg/ha)</b>											
<b>Bioma</b>	<b>Cultura</b>	<b>2011/2020</b>	<b>2021/2030</b>	<b>Diferença</b>	<b>Diferença (%)</b>	<b>2031/2040</b>	<b>Diferença</b>	<b>Diferença (%)</b>	<b>2041/2050</b>	<b>Diferença</b>	<b>Diferença (%)</b>
<b>Amazônia</b>	Soja	3.078	2.456	623	20	2.504	574	19	2.562	516	17
	Milho	2.543	2.795	252	10	3.597	1.054	41	2.867	324	13
	Arroz	1.917	1.907	10	1	1.825	92	5	1.766	151	8
	Feijão	678	679	2	0	672	6	1	660	18	3
<b>Cerrado</b>	Soja	3.244	2.399	845	26	2.277	967	30	2.486	758	23
	Milho	4.331	4.879	548	13	6.964	2.633	61	5.227	896	21
	Arroz	2.105	1.867	238	11	2.083	21	1	1.897	207	10
	Feijão	1.179	1.077	103	9	1.210	30	3	1.166	14	1
<b>Floresta Atlântica</b>	Soja	3.349	3.524	175	5	3.523	174	5	3.702	353	11
	Milho	4.818	5.329	510	11	6.176	1.358	28	5.608	790	16
	Arroz	3.542	3.433	109	3	3.708	166	5	3.513	29	1
	Feijão	1.171	1.112	58	5	1.193	22	2	1.178	7	1

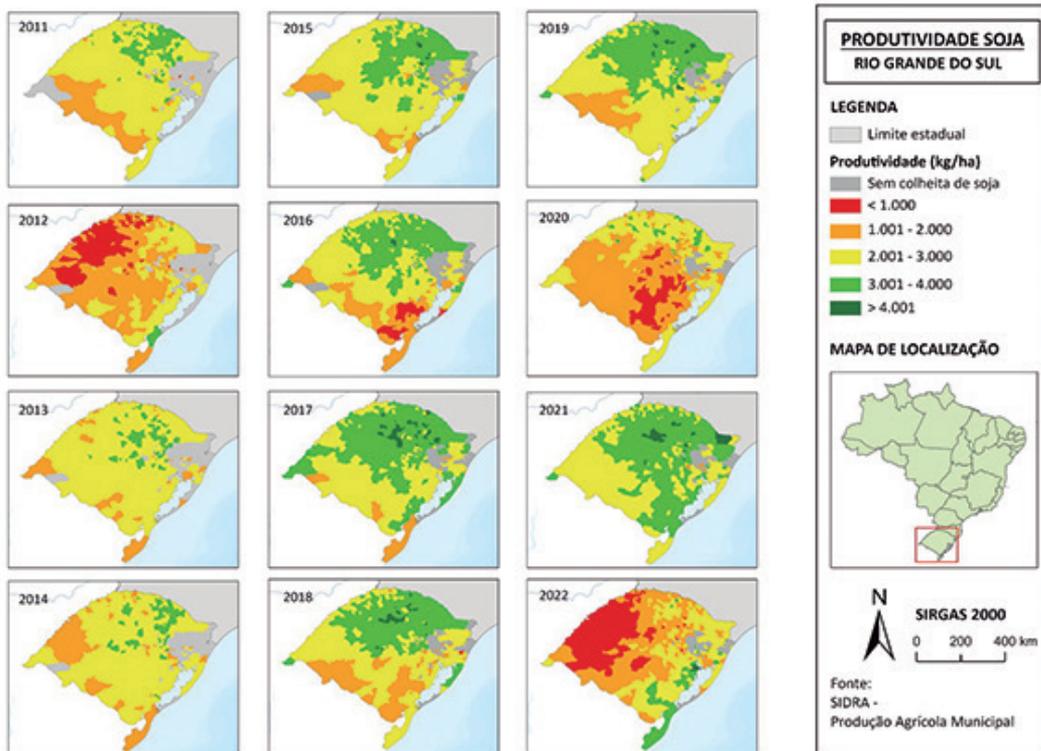
<b>Pampa</b>	Soja	2.458	2.845	87	16	2.819	361	15	2.998	540	22
	Milho	3.812	3.756	56	1	3.314	498	13	3.936	124	3
	Arroz	7.337	7.337	-	-	7.337	-	-	7.337	-	-
	Feijão	1.030	1.030	-	-	1.030	-	-	1.030	-	-
<b>Caatinga</b>	Soja	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Milho	660	722	62	9	925	265	40	716	56	8
	Arroz	1.604	1.819	215	13	1.879	75	17	1.899	295	18
	Feijão	321	344	23	7	374	53	16	374	53	16

*Fonte:* Marengo (2022).

Segundo o pesquisador do Cepea, Mauro Osaki, o prejuízo no sistema soja-milho, que deve ser o maior nos últimos 25 anos, corrobora as estimativas dos modelos simulados no projeto do INCT (Realidades da Safra, 2024). A mesma observação foi feita avaliando as variações de produtividade da soja no Rio Grande do Sul e no Paraná, no período 2010 a 2020. Em oito anos em dez houve perdas no Rio Grande do Sul (Figura 3). Esses resultados indicam que não se trata de um fenômeno cíclico, pois foram observadas perdas nos anos de 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2016 e 2020. Segundo os resultados dos modelos agrometeorológicos, utilizando os dados do CIMIP6, indicados na Tabela 2, em todos os casos, o impacto na produtividade é negativo, o que indica uma possível redução na oferta de alimentos se as práticas atuais de produção forem mantidas. Entretanto, com a adoção de práticas agrícolas do programa ABC, da agricultura regenerativa e a intensificação da produção, o que se tem observado é um aumento da produtividade, especialmente da soja e do milho.

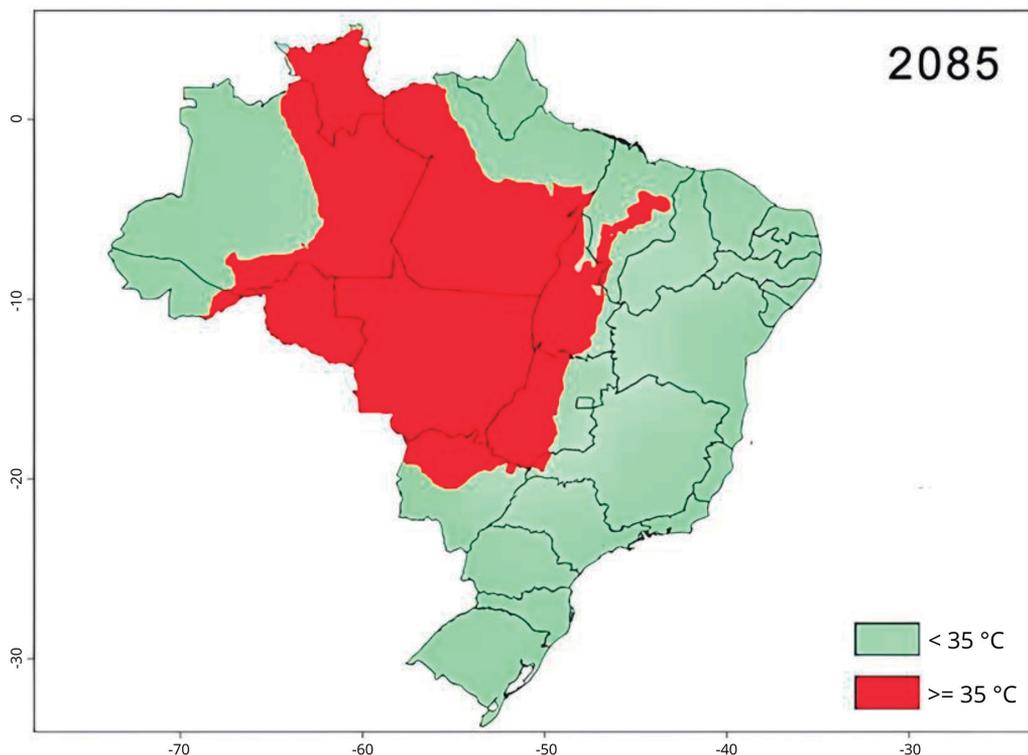
Com o uso de modelos matemáticos calibrados para as condições do Cerrado, Macena et al. (2024) conseguiram simular as emissões de óxido nitroso ( $N_2O$ ), sob diferentes sistemas de manejo para um período de 50 anos. Os autores constataram que, com o aumento da temperatura ao longo do tempo, essas emissões serão cada vez maiores, enquanto a produção de biomassa e o rendimento de grãos diminuirão. Esses resultados pela via da emissão dos GEE mostram claramente que haverá perdas na produção de grãos no Brasil.

Já no trabalho de Assad et al. (2019b) são indicadas as áreas de maior risco de perdas. A área em vermelho na Figura 4 mostra a dimensão do problema, com aumentos significativos da temperatura, comprometendo a produção agrícola no Brasil nos próximos anos.



Fonte: Os autores.

Figura 3 – Variação espacial das perdas de produtividade no Rio Grande do Sul, no período de 2010 a 2022.



Fonte: Assad et al. (2019b).

Figura 4 – Mapa do Brasil com o corte de temperatura acima de 35 °C para o ano de 2085. A região em vermelho é de alto risco para produção agrícola.

### Mudanças do clima e impactos na atividade pecuária

Dados da oitava edição do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG, 2019) indicam que a agropecuária é responsável por 28% das emissões totais de GEE no país, ficando em segundo lugar, atrás apenas do setor de mudanças do uso da terra. No entanto, apesar de apresentar elevadas emissões, o setor é fundamental quando se trata de estratégias e políticas de mitigação. O Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças do Clima para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura (Plano ABC) estabelece seis práticas que visam o desenvolvimento sustentável e, com isso, a mitigação das emissões. São elas: recuperação de pastagens degradadas, sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILP, ILF, IPF e ILPF), sistema de plantio direto, florestas plantadas, tratamento de dejetos animais e fixação biológica de nitrogênio. Dentre as seis atividades indicadas, destacam-se duas de relevância em relação ao potencial de mitigação de emissões quando se trata da pecuária bovina nacional: recuperação de pastagens degradadas e sistemas integrados de lavoura-pecuária-floresta.

## Qual seria o tamanho da pecuária no Brasil?

Segundo o relatório de 2022 da Abiec, a pecuária de corte e leite no Brasil ocupa uma área 154 milhões de hectares, com um rebanho de 202 milhões de cabeças. O tamanho do rebanho bovino brasileiro é motivo de muita discussão. Estima-se que o tamanho oficial do rebanho, estimado pelo IBGE, tem uma variação de 30 milhões de cabeças. Tal fato altera de maneira significativa as emissões da pecuária, que são da ordem de 404 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>e/ano. Essas emissões representam 18,5% das emissões totais do Brasil (SEEG, 2019).

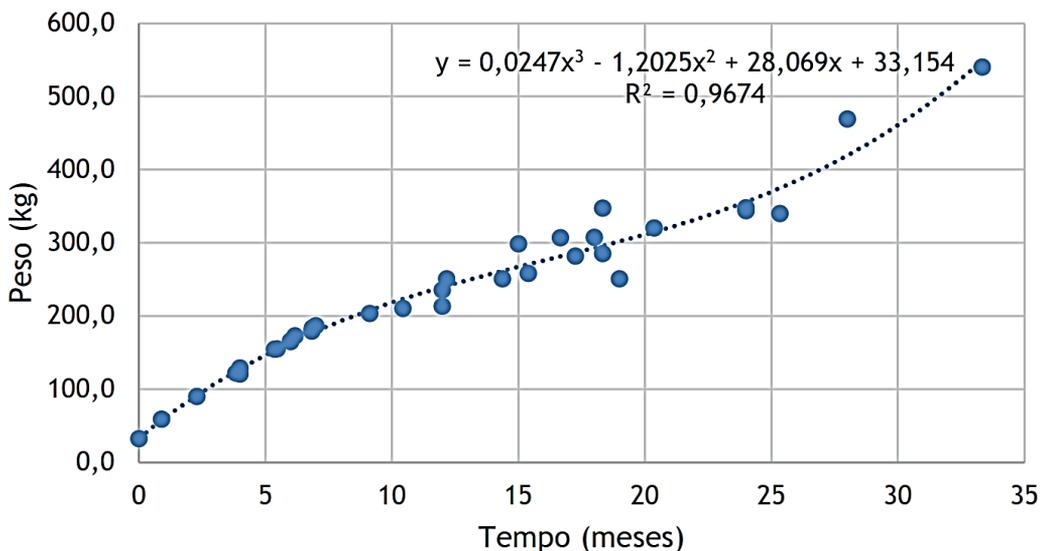
Segundo McManus et al. (2012), o clima terá impacto sobre as quatro principais áreas da produção animal: i) produção e preço de grãos; ii) produção e qualidade das pastagens; iii) crescimento e reprodução animal; e iv) saúde e distribuição de doenças e parasitas. Poucos estudos são publicados no Brasil sobre a resposta de animais às mudanças do clima, os quais são limitados em termos de características estudadas, ambientes, sistemas de produção e raças.

O desconforto térmico influencia o ganho de peso dos animais e a produção de leite. Nas principais mesorregiões produtoras de leite de Pernambuco (Garanhuns e os vales de Ipojuca e Ipanema), a intensificação do estresse térmico resultou em uma redução na produção de leite, produção e consumo alimentar dos animais, especialmente em bovinos com níveis de produção mais elevados (Silva et al., 2009). Nas áreas em que o estresse térmico já é acentuado, como as situadas no interior e no litoral de Pernambuco, os impactos têm sido ainda maiores, tanto nos meses mais quentes (dezembro a fevereiro) quanto nos mais frios (junho a agosto) (Silva et al., 2009). Por outro lado, a maior frequência de ondas de calor pode levar a óbitos de bovinos, em confinamento ou sem qualquer tipo de sistema que possa oferecer sombreamento aos animais, como o sistema integração-pecuária-floresta. A raça Senepol, que está sendo introduzida no Brasil, apresenta uma termotolerância maior do que as outras raças comerciais existentes. Segundo Dikmen et al. (2014, p.5519),

[...] animais que herdaram o SLICK haplótipo de gado Senepol tem capacidade superior de regular a temperatura corporal, pelo menos em parte devido a aumento da capacidade de transpiração, e eles experimentam reduções menos pronunciadas na produção de leite durante o verão em um ambiente quente.

Ou seja, pouco a pouco as descobertas no campo da genética indicam que adaptações dos bovinos ao calor podem ser alcançadas.

Mas a maior questão relacionada a produção da pecuária e as mudanças do clima se refere às emissões de metano. A duração média de vida de um animal no Brasil é de 36 meses (Figura 5). Nesse período, a emissão por cabeça pode chegar a 5.880 Kg CO<sub>2</sub> e por animal. Associa-se este indicador aos pastos degradados, baixa taxa de lotação e eficiência de carcaça. Ou seja, a produção pecuária no Brasil ainda está em patamares baixos. Tais características empurram o produtor para novas áreas de produção, intensificando o desmatamento, que é o maior emissor de GEE do Brasil.



Fonte: MCTI (2020).

Figura 5 – Curva de crescimento dos bovinos no Brasil.

O desmatamento também está associado ao contrabando de madeira e à especulação imobiliária. Defender o desmatamento zero é fundamental, e a pecuária tem procurado melhorar sua eficiência, adotando práticas regenerativas, que intensificam a produção, reduzem a idade de abate, mostrando claramente que, com a recuperação dos pastos degradados, é possível aumentar em mais de 40% a produção de carne no Brasil, sem desmatar. Resende et al. (2021, p.25) indicam os benefícios que a pecuária regenerativa pode trazer para o setor da carne no Brasil, em termos de performance financeira, aumento na taxa de lotação, aumento na receita média etc. Do ponto de vista ambiental, a remoção de GEE aumenta, variando de 0,5 tonelada de C/ha/ano para 1,5 toneladas de C/ha/ano, adotando-se as práticas indicadas, baseadas em manejo e conservação do solo. Outro aspecto importante é que com a maior oferta de alimento nas pastagens, o ciclo de vida do animal pode ser reduzido em 24 meses, reduzindo também as emissões de metano em 30%.

A melhoria na produção pecuária é o centro das políticas públicas do governo, vinculada às mudanças do clima. Diversas opções de financiamento estão disponíveis para recuperação de pastagens, adoção de práticas integrativas de produção de carne, adoção de protocolos de carne carbono neutro e carne baixo carbono. A adoção dessas práticas e políticas públicas poderá auxiliar no cumprimento das metas de desmatamento zero e redução das emissões na pecuária.

## Comentários finais

As mudanças do clima têm impactos significativos na agricultura tropical, podendo-se citar:

1. Com o aquecimento global, espera-se um aumento geral das temperaturas em todo o planeta. Isso pode levar ao estresse térmico das plantas, retardando seu crescimento e reduzindo a produtividade. Além disso, o aumento das temperaturas também pode favorecer o aumento da incidência de doenças, direcionando ainda mais para perdas na produção agrícola.

2. As mudanças do clima podem causar alterações nos padrões de chuva, resultando em períodos prolongados de seca ou de chuvas intensas e tempestades. A falta de chuva e a escassez de água podem afetar as culturas, levando à redução da produção. Por outro lado, chuvas intensas podem levar à erosão do solo e à perda de nutrientes.

3. A frequência e a intensidade de eventos climáticos extremos, como furacões, ciclones, tempestades e inundações, estão sendo influenciadas pelas mudanças do clima. Esses eventos podem destruir plantações inteiras, causar perdas graves de colheitas e de infraestrutura agrícola, e resultar em insegurança alimentar.

4. As mudanças do clima podem variar a distribuição geográfica e o comportamento de pragas e doenças que afetam as plantas. Aumentos na temperatura podem aumentar a diversidade de insetos e patógenos, levando a surtos de doenças e novas infestações.

5. As mudanças do clima também podem resultar na perda de biodiversidade, afetando os ecossistemas agrícolas. A redução da população de polinizadores, como as abelhas, pode reduzir o potencial no aumento na produção de culturas que dependem da polinização. A redução da diversidade genética de plantas cultivadas também pode afetar sua resiliência.

Agora é torcer para que os produtores rurais entendam que as mudanças do clima vieram para ficar e é necessário procurar se adaptar, para sobreviver.

## Notas

1 Projeto de cooperação técnica implementado em 2015 e financiado pelo Fundo Internacional para o Clima do Ministério da Agricultura, da Alimentação, da Pesca e dos Assuntos Rurais do Governo Britânico (DEFRA), tendo como beneficiário o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), por meio da Secretaria de Mobilidade Social, do Produtor Rural e do Cooperativismo (Projeto Rural Sustentável, 2018).

2 Majerowicz (2004) descreve com detalhes os fatores que atuam na fotossíntese e como são diferenciados para as plantas tipo C3 (leguminosas) e C4 (gramíneas). Nesse trabalho, Majerowicz (2004) trata dos organismos fotossintetizantes. Os organismos não fotossintetizantes (heterotróficos), como animais, fungos e bactérias, são dependentes de moléculas orgânicas pré-formadas, obtidas através da alimentação ou absorção, para suprir os seus requisitos permanentes de energia e de matérias-primas.

3 Nas plantas C3 o primeiro composto sintetizado apresenta três carbonos (3-fosfoglicerato) em sua composição, enquanto nas plantas C4 o primeiro composto é formado por quatro carbonos (oxaloacetato) (Guarda; Campos, 2014).

## Referências

ABIEC – Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes. Beef Report 2023: Perfil da Pecuária no Brasil. São Paulo: Brazilian Beef; Abiec.

ALVES, F. V.; ALMEIDA, R. G. de; LAURA, V. A. (Ed.) *Carne carbono neutro: um novo conceito para carne sustentável produzida nos trópicos*. Brasília: Embrapa Gado de Corte, 2015. 32p. (Embrapa Gado de Corte. Documentos, 210).

ALVES, E.; SOUZA, G.; SANTANA, C. Pobreza e sustentabilidade. *Revista de Política Agrícola*, v.25, n.4, p.63-81, 2016. Disponível em: <<https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/view/1203/1026>>.

ANGELOTTI, F. et al. Climate change and the occurrence of downy mildew in Brazilian grapevines. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.52, n.6, p.424-32, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-204X2017000600006>>.

ASSAD, E. D.; PINTO, H. S. *Aquecimento Global e a Nova Geografia da produção Agrícola no Brasil*. Brasília: Embaixada Britânica, 2008. v.1. 82p.

ASSAD, E. D. et al. Impacts of climate change on the agricultural zoning of climate risk for cotton cultivation in Brazil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.48, n.1, p.1-8, 2013. Disponível em: <<https://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/13119/8962>>.

ASSAD, E. D. et al. Impactos e vulnerabilidades da agricultura brasileira as mudanças climáticas, 2016. *Modelagem climática e vulnerabilidades setoriais à mudança clima no Brasil*, v.4, p.127-88), 2016.

ASSAD, E. D. et al. *Papel do Plano ABC e do Planaveg na adaptação da agricultura e da pecuária às mudanças climáticas*. São Paulo: WRI Brasil. 2019a. Disponível em: <<https://wribrasil.org.br/pt/publicacoes>>.

ASSAD, E. D.; RIBEIRO, R. R. R.; NAKAI, A. M., 2019b. Assessments and how an increase in temperature may have an impact on agriculture in Brazil and mapping of the current and future situation. In: NOBRE, C.; MARENGO, J.; SOARES, W. (Ed.) *Climate Change Risks in Brazil*. Springer, Cham. 2019b. Disponível em: <[https://doi.org/10.1007/978-3-319-92881-4\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-92881-4_3)>.

BERGAMASCHI, H.; MATZENAUER, R. *O milho e o clima*. Porto Alegre: Emater/RS-Ascar, 2014. 84p.

CEMADEN. Nota Técnica Impactos e Riscos de Desastres na Região Nordeste intensificados pelo El Niño-2023. 2023. Disponível em: <[https://www.gov.br/cemaden/pt-br/assuntos/noticias-cemaden/cemaden-divulga-nota-tecnica-sobre-os-impactos-e-riscos-de-desastres-na-regiao-nordeste-intensificados-pelo-el-nino/NT\\_ELNINO\\_NORDESTE\\_11231.pdf/view](https://www.gov.br/cemaden/pt-br/assuntos/noticias-cemaden/cemaden-divulga-nota-tecnica-sobre-os-impactos-e-riscos-de-desastres-na-regiao-nordeste-intensificados-pelo-el-nino/NT_ELNINO_NORDESTE_11231.pdf/view)>.

CONAB - *Compêndio de Estudos Conab / Companhia Nacional de Abastecimento* v.31. Brasília: Conab, 2023. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/institucional/publicacoes/compendio-de-estudos-da-conab>>.

CPC. Climate Prediction Center, 2024. ENSO: Recent Evolution, Current Status and Predictions. Disponível em: <[https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/lanina/enso\\_evolution-status-fcsts-web.pdf](https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/lanina/enso_evolution-status-fcsts-web.pdf)>.

CRUZ, J. C. et al. *Boas práticas agrícolas*: milho. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2011. 47p. (Documentos 119).

DIKMEN, S. et al. The SLICK hair locus derived from Senepol cattle confers thermotolerance to intensively managed lactating Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, v.97, p.5508-20, 2014. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2014-8087>

FARIAS, J. R. B.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A. L. Soja. In: MONTEIRO, J. E. B. A. (Org.) *Agrometeorologia dos cultivos*: o fator meteorológico na produção agrícola. Brasília: Instituto Nacional de Meteorologia, 2009. p.261-77.

GHINI, R.; BETTIOL, W.; HAMADA, E. Diseases in tropical and plantation crops as affected by climate changes: current knowledge and perspectives. *Plant Pathology*, v.60, n.1, p.122-32, 2011. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2010.02403.x>

GHINI, R.; HAMADA. *Mudanças climáticas*: impactos sobre doenças de plantas no Brasil. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. 2008. 331p. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/14356/mudancas-climaticas-impactos-sobre-doencas-de-plantas-no-brasil>>.

GUARDA, V. D.; CAMPOS, L. J. M. *Bases ecofisiológicas da assimilação de carbono e suas implicações na produção de forragem*. Palmas: Embrapa Pesca e Aquicultura. 2014. 48p. <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1008387/1/CNPA-SA2014DOC7.pdf>>

HEINEMANN, A. B.; STONE, L. F.; SILVA, S. C. da. Feijão. In: MONTEIRO, J. E. B. A. (Org.) *Agrometeorologia dos cultivos*: o fator meteorológico na produção agrícola. Brasília: Instituto Nacional de Meteorologia, 2009. p.183-201.

IPCC. Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (ed.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 2007. 104p.

IPCC - The Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee, and J. Romero (eds.)]. <10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.>

LOBELL, D. B.; FIELD, C. B. Global scale climate–crop yield relationships and the impacts of recent warming. *Environmental Research Letters*, v.2, n.1, 014002, 2007.

MACENA et al. Effects of agricultural management and of climate change on N<sub>2</sub>O emissions in an area of the Brazilian Cerrado: Measurements and simulations using the STICS soil-crop model. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v.363, 108842, 2024. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167880923005017?via%3DIihub>>.

MAJEROWICZ, N. Fotossíntese. In: KERBAUY, G. B. (Ed.) *Fisiologia Vegetal*. 2.ed. São Paulo: Guanabara, 2004. p.114-78.

MAPBIOMAS, 2023. Destaques Agropecuária no Brasil (1985-2022). Disponível em:

<[https://brasil.mapbiomas.org/2023/08/31/perda-de-vegetacao-nativa-no-brasil-acelerou-na-ultima-decada/#:~:text=No%20Cerrado%2C%20as%20atividades%20agropecu%C3%A1rias,ter%C3%A7o%20\(33%25\)%20do%20Brasil](https://brasil.mapbiomas.org/2023/08/31/perda-de-vegetacao-nativa-no-brasil-acelerou-na-ultima-decada/#:~:text=No%20Cerrado%2C%20as%20atividades%20agropecu%C3%A1rias,ter%C3%A7o%20(33%25)%20do%20Brasil)>.

MARENGO, J. INCT Climate Change Phase 2, Report Year 8. Cemaden, 2022. 260p.

MARGULIS, S.; DUBEUX, S. B. C. *A economia das mudanças climáticas no Brasil: custos e oportunidades*. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2011. 84p. Disponível em: <<http://www.usp.br/nereus/?p=1664>>.

McMANUS et al. Pecuária e mudanças climáticas. Revista *UFG*, ano XIII, n.13, p.73-82, dez. 2012.

MCTI – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. Quarto inventário nacional de emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa (Relatório de Referência) - Setor Agropecuária, Subsetor fermentação entérica. 2020. 143p. Disponível em: <<https://repositorio.mctic.gov.br/handle/mctic/5250>>.

MORRIS, V.; JACQUET, J. The animal agriculture industry, US universities, and the obstruction of climate understanding and policy. *Climate Change*, v.177, n.41, 2024. <https://doi.org/10.1007/s10584-024-03690-w>.

NOBRE, C. et al. Climate Change Risks Limits to Adaptation. *Brazil*, v.97, p.5508-21, 2014. <[10.13140/RG.2.2.21924.40329](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.21924.40329)>.

PROJETO RURAL SUSTENTÁVEL, 2018. O que é o projeto Rural Sustentável? Disponível em <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/rural-sustentavel/o-que-e-o-projeto-rural-sustentavel>>.

RAY, D. K. et al. Climate variation explains a third of global yield variability. *Nature Communications*, v.6, n.5989, 2015. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/ncomms6989>>.

REALIDADES DA SAFRA, 2024. Sistema soja + milho deve fechar com maior prejuízo dos últimos 25 anos, diz pesquisador do Cepea. Disponível em <<https://www.noticiasagricolas.com.br/noticias/graos/373561-sistema-soja-milho-deve-fechar-com-maior-prejuizo-dos-ultimos-25-anos-diz-pesquisador.html>>.

RESENDE, L. de O.; PINTO, L. F. G.; LETA, F. F. B. A pecuária regenerativa no contexto brasileiro. *Agroanalysis*, v.41, n.1, p.24-25, 2021. Disponível em: <<https://periodicos.fgv.br/agroanalysis/article/view/86570/81496>>.

SEEG - Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa. SEEG-2019. Disponível em: <<https://seeg.eco.br/>>.

SILVA, T. G. F. da. et al. Impactos das mudanças climáticas na produção leiteira do estado de Pernambuco: análise para os cenários B2 e A2 do IPCC. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.24, n.4, p.489-501, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0102-77862009000400010>.

SINGH, B. K. et al. Climate change impacts on plant pathogens, food security and paths forward. *Nature Reviews Microbiology*, v.21, October 2023. Disponível em: <[640-656. https://doi.org/10.1038/s41579-023-00900-7](https://doi.org/10.1038/s41579-023-00900-7)>.

TANURE, T. et al. Farmers' perceptions of climate change affect their adoption of sustainable agricultural technologies in the Brazilian Amazon and Atlantic Forest biomes. *Climatic Change*, v.177, n.8, 2024. <https://doi.org/10.1007/s10584-023-03657-3>.

XAVIER, A. C. et al. New improved Brazilian daily weather gridded data (1961–2020). *International Journal of Climatology*, v.42, n.16, p.8390-404, 2022. <https://doi.org/10.1002/joc.7731> 2022.

XAVIER, A. C.; KING, C. W.; SCANLON, B. R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980–2013). *International Journal of Climatology*, v.36, p.2644-59, 2016. <http://dx.doi.org/10.1002/joc.4518>.

*RESUMO* – O conhecimento sobre o clima na Terra tem se ampliado nas últimas décadas e evidências apontam que o comportamento do clima está mudando. No Brasil, estudos e pesquisas apontam para aumento da temperatura e mudanças na distribuição das chuvas. Entretanto, os efeitos na produtividade das principais culturas agrícolas, na pecuária e na incidência de doenças de plantas, em especial no Brasil, não aumentaram na mesma proporção. As mudanças do clima são evidentes e é necessário que produtores agrícolas brasileiros – pequenos, médios e grandes – se adaptem para sobreviver.

*ALAVRAS-CHAVE*: Temperatura, Ondas de calor, Doenças de plantas, Adaptação.

*ABSTRACT* – The knowledge about Earth’s climate has expanded in recent decades, and evidence suggest that climate behavior is changing. In Brazil, studies and research points to an increase in temperature, and changes in the rainfall distribution. However, the effects on the productivity of the main agricultural crops, the livestock, and the incidence of plants diseases, especially in Brazil, did not increase in the same proportion. Climate changes are evident, and it is necessary for Brazilian agricultural producers -small, medium, and large- to adapt to survive.

*KEYWORDS*: Temperature, Heat waves, Plants diseases, Adaptation.

*Eduardo Delgado Assad* é doutor em Manejo e Ciências da Água pela Universidade de Montpellier, França. Pesquisador aposentado da Embrapa e coordenador do componente segurança alimentar INCT-Mudanças do clima. @ – [edu.assad@gmail.com](mailto:edu.assad@gmail.com) / <https://orcid.org/0000-0003-2372-36853>.

*Maria Leonor Ribeiro Casimiro Lopes Assad* é doutora em Ciência do Solo pela Universidade de Montpellier, França. Professora titular aposentada da UFSCar. @ – [leonorrcla@gmail.com](mailto:leonorrcla@gmail.com) / <https://orcid.org/0000-0001-9462-909>.

Recebido em 1º.5.2024 e aceito em. 15.7.2024.

<sup>I</sup> Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Brasília, DF, Brasil.

<sup>II</sup> Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, São Paulo, Brasil.

