

UniRV- UNIVERSIDADE DE RIO VERDE
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL

COMPORTAMENTO E TENDÊNCIAS METEOROLÓGICAS E
ÁREAS APTAS PARA A PRODUÇÃO DE SOJA EM CENÁRIOS
DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS

REGINA CARVALHO

Magister Scientiae

RIO VERDE
GOIÁS - BRASIL
2023

REGINA CARVALHO

**COMPORTAMENTO E TENDÊNCIAS METEOROLÓGICAS E ÁREAS APTAS
PARA A PRODUÇÃO DE SOJA EM CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS**

Dissertação apresentada à UniRV - Universidade de Rio Verde, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para a obtenção do título de *Magister Scientiae*.

**RIO VERDE
GOIÁS - BRASIL**

2023

Universidade de Rio Verde
Biblioteca Luiza Carlinda de Oliveira
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação – (CIP)

C327c Carvalho, Regina

Comportamento e tendências meteorológicas e áreas aptas para a produção de soja em cenários de mudança climáticas. / Regina Carvalho. – 2023.

87 f.: il.

Orientadora: Profa. Dra. Camila Jorge Bernabé Ferreira.

Coorientadores: Prof. Dr. Gilmar Oliveira Santos e Dr. Caique Menezes de Abreu

Dissertação (Mestrado) — Universidade de Rio Verde - UniRV, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Faculdade de Agronomia, 2023.

Contém índice de tabelas e figuras.

1. *Glycine max*. 2. Clima. 3. Estresse hídrico. 4. Produção de grãos. I. Ferreira, Camila Jorge Bernabé. II. Santos, Gilmar Oliveira. Abreu, Caique Menezes de. III. Título.

CDD: 631.5

Bibliotecário: Juatan Tiago da Silva – CRB 1/3158

REGINA CARVALHO

Comportamento e tendências meteorológicas e áreas aptas para a produção de soja em cenários de mudanças climáticas

Dissertação apresentada à UniRV – Universidade de Rio Verde, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVAÇÃO: 19 de dezembro de 2023

Documento assinado digitalmente
 CAMILA JÓRGE BERNABÉ FERREIRA BRAZ
Data: 19/12/2023 13:35:55-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Profª. Dra. Camila Jorge Bernabé Ferreira Braz
Presidente da Banca Examinadora
Orientadora/UniRV

Documento assinado digitalmente
 AUGUSTO MATIAS DE OLIVEIRA
Data: 19/12/2023 11:39:10-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. Augusto Matias de Oliveira
Membro - Interno/UniRV

Documento assinado digitalmente
 DIEGO GONÇALVES FEITOSA
Data: 19/12/2023 10:51:21-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. Diego Gonçalves Feitosa
Membro Externo - IFMT Campus Juína

DEDICATÓRIA

Dedico a minha família!

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me dado forças mesmo diante de tanta provação, no decorrer deste curso e estar finalizando esta etapa é somente graças a ele!

À Universidade de Rio Verde (UniRV) e ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal (PPGPV), pela oportunidade de realizar a formação no Mestrado.

Ao meu Co-orientador Prof. Dr. Gilmar Oliveira Santos, pela confiança que ele sempre depositou em mim, às vezes que pensei e agora o que vamos fazer, foi ele que falou, “*Regina, tem solução*”, “*vai dar certo*”, e nunca desistiu de acreditar em meu potencial e neste trabalho.

Ao Dr. Caique Menezes de Abreu, por me auxiliar com a escrita e realização das análises estatísticas, por todo apoio e confiança em mim.

Ao Dr. Augusto Matias de Oliveira, por toda orientação na escrita deste trabalho, por confiar em mim para realização desta pesquisa.

A minha família, a minha mãe Rozana Cláudia S. C. Ramos, que mesmo de longe me apoiou e na finalização da escrita, me incentivando muito.

À Camila Rebelatto Muniz, por todo apoio e ajuda com os caminhos para a realização desta escrita, por me apoiar e acreditar que daria tudo certo.

BIOGRAFIA

REGINA CARVALHO, filha de Rozana Claudia S. C. Ramos, nasceu em Goiânia, Estado de Goiás, aos 16 dias de agosto do ano de 1998. Em agosto de 2016, iniciou o curso de Engenharia Agrônômica na Universidade de Rio Verde (UniRV), na cidade de Rio Verde, Estado de Goiás. Durante a graduação, entre os anos de 2019-2020, foi aluna de iniciação científica, observando a Prospecção de isolados fúngicos e bacterianos antagonistas de *Meloidogyne incognita*. No ano de 2021, ingressou como aluna regular no Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal (PPGPV) da UniRV, com trabalho direcionado ao Comportamento e tendências meteorológicas e áreas aptas para a produção de soja em cenários de mudanças climáticas.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	vi
LISTA DE FIGURAS.....	vii
RESUMO.....	ix
ABSTRACT.....	x
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 Cultivo de Soja.....	3
2.1.1 Cultura da soja: avanços científicos e tecnológicos.....	5
2.1.2 Bactérias promotoras do crescimento de plantas.....	7
2.1.3 Cultivares tolerantes a seca e déficit hídrico.....	7
2.1.4 Estresse na germinação e emergência.....	8
2.1.5 Estresse na floração e formação de vagens.....	9
3 MUDANÇAS CLIMÁTICAS.....	9
3.1 Mudanças climáticas no Brasil e influência no cultivo de soja.....	11
4 TENDÊNCIAS CLIMÁTICAS: UMA ABORDAGEM CIENTÍFICA.....	12
4.1 Modelos climáticos: fundamentos e aplicações avançadas.....	13
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	14
CAPÍTULO 1 - COMPORTAMENTO E TENDÊNCIA DOS DADOS CLIMÁTICOS E PRODUTIVOS DA SOJA.....	28
RESUMO.....	28
ABSTRACT.....	29
1 INTRODUÇÃO.....	30
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	32
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
4 CONCLUSÕES.....	47
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48
CAPÍTULO 2 - MODELAGEM DE NICHOS PARA CULTIVARES TOLERANTES A ESTRESSE POR SECA.....	53
RESUMO.....	53
ABSTRACT.....	54
1 INTRODUÇÃO.....	55

2 MATERIAL E MÉTODOS.....	56
2.1 Local de Estudo.....	56
2.2 Distribuição da soja (<i>Glycine max</i>).....	57
2.3 Criação do modelo de distribuição das cultivares de soja.....	58
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	59
3.1 Modelo de nicho ecológico para cultivares tolerantes a estresse por seca.....	59
4 CONCLUSÕES.....	69
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	70
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	73

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	Duração da fase fenológica e coeficiente de cultivo da cultura (kc) da soja	34
TABELA 2	Genótipos utilizados para bioprospecção das áreas de adequabilidade nos cenários de futuras mudanças climáticas.....	58
TABELA 3	Parâmetros CLIMatic index - CLIMEX para modelagem de <i>Glycine max</i> sp. para o cenário de mudanças climáticas.....	59
TABELA 4	Modificação das áreas potencialmente adequadas para a distribuição da soja frente às alterações climáticas (número de pixel) para os anos de: 2020, 2050, 2080 e 2100, no mundo.....	68

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	Temperatura do ar máxima, média e mínima (a); umidade relativa do ar média (b); velocidade do vento média (c); brilho solar e radiação solar (d); evapotranspiração de referência (e) e precipitação (f) média de 1972 até 2021, para o município de Rio Verde, Goiás, Brasil.....	36
FIGURA 2	Linha de tendência da temperatura máxima (a) e mínima (b) do ar no período de 1972 até 2021, para o município de Rio Verde, Goiás.....	37
FIGURA 3	Linha de tendência da umidade relativa do ar (a) e velocidade do vento (b) no período de 1972 até 2021, para o município de Rio Verde, Goiás	38
FIGURA 4	Linha de tendência do brilho solar (a) e radiação solar (b) no período de 1972 até 2021, para o município de Rio Verde, Goiás.....	39
FIGURA 5	Linha de tendência da evapotranspiração (a) e precipitação (b) no período de 1972 até 2021, para o município de Rio Verde, Goiás.....	40
FIGURA 6	Comportamento médio por década (1972-2021) de temperatura do ar máxima (a) e mínima (b), umidade relativa do ar (c) e precipitação (d) para o município de Rio Verde, Goiás, Brasil.....	41
FIGURA 7	Tendência do volume de precipitado e produtividade da soja (a) e a relação entre as variáveis, para o município de Rio Verde, Goiás.....	42
FIGURA 8	Análise de componentes principais de dados climáticos e produtividade de soja no período de 1972 até 2021, para o município de Rio Verde, Goiás.....	43
FIGURA 9	Rede de correlação de Pearson entre as variáveis climáticas e produtivas da cultura da soja cultivada no município de Rio Verde, Goiás.....	44
FIGURA 10	Extrato do balanço hídrico climatológico normal (1972-2021) para o município de Rio Verde, Goiás, Brasil.....	45
FIGURA 11	Localização geográfica do município de Rio Verde, estado de Goiás, Brasil.....	57
FIGURA 12	Distribuição e adequação do modelo de nicho ecológico para ocorrência de genótipos de <i>Glycine max</i> tolerantes a seca, Ano 2020.....	60
FIGURA 13	Distribuição da cultura da soja (<i>Glycine max</i>) no Brasil, por área de cultivo, por município.....	61

FIGURA 14	Modelo de distribuição de nicho ecológico para cultivares tolerantes à seca da espécie <i>Glycine max</i> , Ano 2020.....	62
FIGURA 15	Modelo de distribuição de nicho ecológico para cultivares tolerantes à seca da espécie <i>Glycine max</i> , Ano 2050.....	64
FIGURA 16	Modelo de distribuição de nicho ecológico para cultivares tolerantes à seca da espécie <i>Glycine max</i> , Ano 2080.....	65
FIGURA 17	Modelo de distribuição de nicho ecológico para cultivares tolerantes à seca da espécie <i>Glycine max</i> , Ano 2100.....	66

RESUMO GERAL

CARVALHO, R. UniRV - Universidade de Rio Verde, novembro de 2023. **Comportamento e tendências meteorológicas e áreas aptas para a produção de soja em cenários de mudanças climáticas.** Orientadora: Profa. Dra. Camila Jorge Bernabé Ferreira. Co-orientadores: Prof. Dr. Gilmar Oliveira Santos e Dr. Caique Menezes de Abreu. Dissertação de Mestrado em Produção Vegetal. Universidade de Rio Verde. 87p. 2023.

A produtividade das culturas é influenciada por fatores climáticos. Assim, é de suma importância compreender como as mudanças climáticas podem impactar negativamente no rendimento das culturas. Dessa maneira, o objetivo deste trabalho foi avaliar o comportamento climático (50 anos), a tendência meteorológica e realizar a modelagem de áreas aptas para o cultivo de soja, até o ano de 2100, em função das condições meteorológicas para variedades tolerantes à seca. Esta dissertação foi dividida em dois capítulos: sendo o primeiro sobre o “Comportamento e tendências meteorológicas e produtividade da soja” e o segundo referente a “Modelagem de nicho para cultivares tolerantes a estresse por seca”. Para a execução destes, os dados meteorológicos foram obtidos no Instituto Nacional de Meteorologia no período de 1972 a 2021. Para a modelagem foram utilizados os dados de ocorrência da soja *Glycine max* spp. coletados de publicações científicas, disponíveis no *Global Biodiversity Information Facility* (GBIF) e analisados com o algoritmo CLIMEX para projeções de 2020 até 2100. Na região de Rio Verde, nos últimos 50 anos, houve aumento da temperatura máxima (T_{máx}) e mínima (T_{mín}) do ar e redução da umidade relativa do ar média (UR_{méd}) e da precipitação (P). Esse comportamento deve prevalecer na região nos próximos anos com aumento de 0,3°C para T_{máx} e 0,22°C para T_{mín} e redução de 1,6% para UR_{méd} e 18,6 mm na P, a cada década. A temperatura mínima do ar e a radiação solar são os elementos meteorológicos de maior influência na produção da soja. O aumento gradativo dessas variáveis pode comprometer o desempenho da cultura, reduzindo a produção. Embora as condições climáticas atuais sejam favoráveis ao cultivo da soja, o efeito das mudanças climáticas pode mudar este cenário, através: do aumento da temperatura do ar, redução da umidade relativa, maior demanda hídrica das culturas e da distribuição de precipitação irregular. A distribuição de espécies de soja é bastante ampla, em nível mundial, com áreas adequadas ao cultivo da espécie, porém ao longo dos anos, com os efeitos das mudanças climáticas, mais específico, com a elevação da temperatura média do planeta até o ano de 2100, há uma tendência de aumento expressivo das áreas (5,7%) que começam a se tornarem inadequadas. No Brasil, essas áreas se concentram nas regiões norte, nordeste e centro-oeste. No município de Rio Verde, deve haver uma permanência no padrão meteorológico propício ao cultivo de soja, mantendo-se até o ano de 2100 como moderadamente adequado. Diante desses resultados, pode-se concluir que há necessidade de cultivares cada vez mais tolerantes à seca, e adoção práticas que auxiliem nessa tolerância, como: adoção de irrigação, manejo adequado do solo, prática de plantio direto, entre outras práticas que ofereçam suporte a planta para tolerar a seca.

Palavras-chave: Clima, Estresse Hídrico, Produção de grãos, *Glycine max*.

GENERAL ABSTRACT

CARVALHO, R. UniRV - University of Rio Verde, November 2023. **Behavior and trends and areas suitable for soybean production in climate change scenarios.** Advisor: Profa. Dra. Camila Jorge Bernabé Ferreira. Co-supervisor: Gilmar Oliveira Santos and Dr. Caique Menezes de Abreu. Master's Dissertation in Plant Production. University of Rio Verde. 86p. 2023.

Crop productivity is influenced by climatic factors. Therefore, understanding how climate change can negatively impact crop yields. Therefore, the objective of this work was to evaluate the climatic behavior (50 years), the meteorological trend and carry out the modeling of areas suitable for soybean cultivation until the year 2100 depending on the meteorological conditions for drought-tolerant varieties. The dissertation was divided into two chapters, the first on “Meteorological behavior and trends and soybean productivity” and the second on “Niche modeling for cultivars tolerant to drought stress”. To carry them out, meteorological data were obtained from the National Institute of Meteorology from 1972 to 2021. For modeling, data on the occurrence of soybeans *Glycine max* spp. were used, collected from scientific publications, available at the Global Biodiversity Information Facility (GBIF) and analyzed with the CLIMEX algorithm for projections from 2020 to 2100. In the Rio Verde region, over the last 50 years, there has been an increase in maximum (Tmax) and minimum (Tmin) temperatures. Of the air and reduction in average relative humidity (RHmed) and precipitation (P). This behavior should prevail in the region in the coming years with an increase of 0.3°C for Tmax and 0.22°C for Tmin and a reduction of 1.6% for RHmed and 18.6 mm in P, each decade. Minimum air temperature and solar radiation are the meteorological elements that most influence soybean production. The gradual increase in these variables can compromise crop performance, reducing production. Although current climatic conditions are favorable for soybean cultivation, the effect of climate change could change this scenario, through increased air temperature, reduced relative humidity, greater water demand from crops, and irregular precipitation distribution. The distribution of soybean species is quite wide worldwide, with areas suitable for the cultivation of the species, but over the years, with the effects of climate change, more specifically, with the increase in the planet's average temperature until the year 2100, there is a tendency for a significant increase in areas (5.7%) that begin to become unsuitable. In Brazil, these areas are concentrated in the north, northeast and central-west regions. In the municipality of Rio Verde, there should be a continuation of the meteorological pattern conducive to soybean cultivation, remaining moderately suitable until the year 2100. Given these results, it can be concluded that there is a need for cultivars that are increasingly tolerant to drought, and to adopt practices that help with this tolerance, such as the adoption of irrigation, adequate soil management, direct planting practices, among other practices that support the plant to tolerate drought.

Keywords: Climate, Water Stress, Grain production, *Glycine max*.

1 INTRODUÇÃO GERAL

A soja (*Glycine max* L) é originária do leste da Ásia e conquistou rapidamente os campos de cultivo em diversos continentes, transformando-se em uma das principais commodities agrícolas do mundo (GOMES, 2023). A sua versatilidade é evidenciada pela capacidade de fixar nitrogênio atmosférico, enriquecendo o solo, bem como, pelo seu valor nutricional, sendo uma rica fonte de proteínas e óleos vegetais, contribuindo para o crescimento econômico e a transformação do cenário agrícola (ALMEIDA JÚNIOR et al., 2022). A cultura possui um importante papel socioeconômico, sendo utilizada: na alimentação humana, no fornecimento de rações para animais e na produção de produtos industrializados, desde óleos e farinhas até biocombustíveis (FOREZI, 2023), o que gera milhares de empregos diretos e indiretos, movimentando a economia mundial (DALMOLIN, 2023).

No Brasil, o Estado de Goiás é um dos principais polos agrícolas (SILVA et al., 2023) e nas últimas cinco décadas, a soja emergiu como um elemento fundamental na economia agrícola goiana (PEIXOTO, 2022). Em Goiás, o município de Rio Verde se destaca como o maior produtor de grãos do estado e o segundo colocado no *ranking* nacional, chegando a produzir mais de um milhão de toneladas (IBGE, 2022). Contudo, com essa dependência da soja em áreas produtoras, Goiás está intrinsecamente ligado às condições climáticas que propiciam a produção do grão no estado, e as mudanças climáticas globais emergem, como uma preocupação crescente, em relação à sustentabilidade da cultura (PEREIRA; FLEURY, 2022). A produção de soja nos estados de: Mato Grosso, Paraná e Rio Grande do Sul é destaque no cenário agrícola brasileiro (MISSIO et al., 2024).

De acordo com Rossetto e Silva (2024), o estado do Mato Grosso é considerado “rei da soja”, destaca-se como o principal produtor nacional, liderando consistentemente a produção de soja no país. Com vastas áreas de terras dedicadas ao cultivo, o estado tem adotado tecnologias avançadas e práticas agrícolas inovadoras para aumentar a eficiência e a produtividade. O estado do Paraná, por sua vez, figura entre os principais estados produtores, contribuindo significativamente para a produção nacional. Sua localização estratégica e condições climáticas favoráveis o tornam propício ao cultivo da soja (PROCHNOW, 2023). Já o Rio Grande do Sul, embora não alcance os volumes de Mato Grosso, destaca-se como um importante produtor, apresentando uma produção expressiva e contribuindo para a diversificação geográfica da produção de soja no Brasil (DE MELLO; BRUM, 2020).

Devido à importância da cultura, isso tem feito com que a soja seja objeto de estudos de

vários campos, buscando compreender a influência dos fatores bióticos e abióticos no desenvolvimento da cultura, visando aprimorar o seu desempenho e garantir a sua sustentabilidade, principalmente diante dos desafios edafoclimáticos em constante evolução (FIGUEIREDO, 2022).

As mudanças climáticas globais têm suscitado uma série de inquietações, no que diz respeito à agricultura, e o estado de Goiás não permanece alheio a essas tendências climáticas em rápida evolução (CARVALHO FILHO, 2023; COSTA, 2023; PEREIRA, 2023). A variabilidade climática, incluindo: alterações nas temperaturas médias, padrões de chuvas irregulares e a ocorrência de veranicos, alagamentos e ventos fortes, podem intensificar quando associadas aos fenômenos El Niño ou La Niña, dependendo da região, tornando-se assim, uma ameaça para a cultura da soja (ZILLI et al., 2020).

Um dos principais desafios que as mudanças climáticas podem promover em áreas produtoras da cultura da soja é o aumento da incidência de secas e estiagens prolongadas, o que pode resultar em reduções drásticas na produtividade das lavouras. O aumento das temperaturas médias pode criar condições desfavoráveis para o desenvolvimento adequado das plantas, afetando seu ciclo de crescimento e qualidade (CATELAN et al., 2022). Além disso, os padrões irregulares de chuvas podem resultar em períodos de excesso de umidade seguidos por secas, elevando o risco de doenças e pragas nas lavouras (SALVIANO, 2021).

Nesse contexto desafiador, os agricultores têm sido compelidos a buscarem estratégias de adaptação, que variam, desde a seleção de variedades de soja mais resistentes às mudanças climáticas, até a implementação de práticas agrícolas mais sustentáveis (PINHEIRO, 2019). No entanto, as implicações dessas mudanças climáticas, para o futuro da cultura da soja em Goiás, continuam sendo uma área de pesquisa que muito ainda tem para ser explorada (BRESSIANI, 2023).

O cenário de emissões A2, delineado pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), representa um contexto otimista sob a perspectiva de crescimento econômico impulsionado principalmente pelo aumento populacional e autonomia regional (OLIVEIRA et al., 2023; FILIPPINI, 2023; MEOTTI, 2023). Contudo, é imperativo esclarecer que a terminologia "otimista" neste contexto não se refere aos benefícios positivos, em relação às mudanças climáticas, mas sim, ao desenvolvimento econômico em curso. No modelo A2, as projeções indicam uma trajetória contínua de aumento das emissões de gases de efeito estufa, resultando no aquecimento global (DOURADINHO, 2023).

As mudanças climáticas projetadas envolvem alterações: na temperatura média global, modificações nos padrões de precipitação, intensificação de eventos climáticos extremos e

elevação do nível do mar (SANTOS et al., 2023; LOPES, 2023). Os impactos dessas mudanças abrangem vários setores: incluindo a agricultura, ecossistemas naturais, saúde humana e infraestrutura (POSSEBON et al., 2023). No domínio agrícola, o cenário A2 pode culminar em condições adversas, como: períodos de seca prolongada, eventos de inundação mais frequentes e variações nos ciclos sazonais, exercendo efeitos prejudiciais, sobre a produção de culturas, notadamente a soja (ESPÍNDOLA; RIBEIRO, 2023; RODRIGUES et al., 2023).

As análises de tendências climáticas dos últimos anos tendem a explorar os desafios, que as mudanças climáticas apresentam para a cultura da soja e compreender como as estratégias de adaptação, que têm sido implementadas, pelos agricultores podem contribuir para o entendimento da relação entre o comportamento climático de longo prazo e a produção de soja no município de Rio Verde, Goiás, e serão de interesse tanto para aqueles preocupados com a sustentabilidade, quanto para o desenvolvimento da agricultura na região (BORGES, 2023; SANTOS et al., 2023; SANTOS; ANDRADE; FRANÇA, 2023). Desta maneira, objetivou-se com o presente estudo: avaliar o comportamento climático (50 anos), a tendência meteorológica até o ano de 2100 e realizar a modelagem de áreas aptas, para o cultivo de soja, em função das condições meteorológicas, para as variedades tolerantes à seca.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Cultivo de Soja

A soja (*Glycine max*) pertence à família Fabaceae, membro do gênero *Glycine*, sendo a cultura oleaginosa mais produzida no Brasil, desempenhando um papel fundamental na economia do país (LARA et al., 2021; LHAMAS et al., 2023). Originária da China e introduzida no Brasil por volta de 1882, no estado da Bahia (VIDAL; ROSA, 2023), se tornou a cultura de maior importância econômica, contribuindo para o Produto Interno Bruto (PIB) anual e tornando o Brasil o maior produtor mundial, com uma produção anual de mais de 150 milhões de toneladas, uma produtividade média de 3.508 kg ha⁻¹ e uma área plantada de 44.062,6 milhões de hectares (CONAB, 2023).

De acordo com Rosa (2023), a produção bem-sucedida de soja depende de vários fatores, entre os quais estão os fisiológicos e climáticos. A maior parte do peso da planta de soja é composta por água, cerca de 90% (MOREIRA, 2023), o que a torna fundamental em duas

fases críticas do desenvolvimento da cultura. A semente requer um mínimo de 50% de seu peso em água para sustentar a germinação, com a capacidade de água disponível (CAD) no solo variando entre 50% e 85% (SILVA, 2022). Déficits hídricos ou veranicos nas fases de germinação/emergência e floração/enchimento dos grãos podem causar modificações fisiológicas, como a oclusão estomática, resultando na redução dos rendimentos de grãos (ROLDÃO, 2020; LIMA, 2022; MEDEIROS; COSTA, 2022).

A temperatura desempenha um papel fundamental no crescimento da cultura, com preferência por climas temperados a tropicais, temperaturas diurnas médias entre 20°C e 30°C, e noturnas acima de 15°C para máxima produtividade (CARVALHO FILHO, 2023). A temperatura do solo ideal é entre 20°C e 30°C, e isso influencia a germinação e emergência (NEUMAIER et al., 2020).

Além da temperatura, a disponibilidade de água é crítica, especialmente nas fases de germinação-emergência e floração-enchimento, com uma média de precipitação de 500 mm a 800 mm sendo ideal (ROSENZWEIG; SOLECKI, 2014; GAVA et al., 2015). A distribuição adequada da precipitação, sobretudo durante os estágios de floração e enchimento de vagens, é essencial para garantir o bom desempenho da cultura (GAVA et al., 2015; CUTISQUE, 2022). Portanto, é evidente que a produção de soja é profundamente influenciada por fatores fisiológicos, como a necessidade de água, e condições climáticas, como temperatura e precipitação. A compreensão desses aspectos é essencial para aprimorar as práticas de cultivo e otimizar os rendimentos da cultura.

A cultura da soja enfrenta uma série de desafios fitossanitários, com pragas e doenças representando ameaças à produção (SILVA, 2021) de diversas cultura agrícolas. Entre as principais pragas, a lagarta-da-soja (*Anticarsia gemmatilis*) destaca-se, causando danos às folhas e podendo impactar negativamente o desenvolvimento da planta (VIEIRA et al., 2021). O percevejo-marrom (*Euschistus heros*) é outra praga de destaque, alimentando-se dos grãos em formação (CAGLIARI et al., 2020). A mosca-branca (*Bemisia tabaci*) merece atenção devido à sua capacidade de transmitir vírus prejudiciais (HOROWITZ et al., 2020). No que se refere a doenças, a ferrugem-asiática-da-soja (*Phakopsora pachyrhizi*) é uma ameaça crítica, comprometendo a saúde da planta e a qualidade dos grãos (CHICOWSKI et al., 2023). O manejo integrado, que inclui práticas, como o uso de cultivares resistentes, monitoramento constante e a aplicação estratégica de medidas de controle, é essencial para mitigar os impactos dessas pragas e doenças, assegurando uma produção sustentável da soja (HANKE et al., 2022).

Entre as principais doenças que afetam a cultura da soja no Brasil, destacam-se: a ferrugem asiática da soja, à mancha-alvo, a podridão radicular de *Phytophthora*, a podridão de

hastes, nematoides, mofo branco, antracnose, podridão de vagens e mancha roxa. Essas doenças podem causar danos às plantações de soja, reduzindo a produtividade e a qualidade dos grãos. Portanto, estratégias eficazes de manejo de doenças, incluindo a seleção de variedades resistentes e práticas de manejo integrado, desempenham um papel essencial na proteção da cultura de soja contra essas ameaças (CAMOCHENA et al., 2020; OLIVEIRA et al., 2021; DANTAS, 2023; COSTAMILAN et al., 2023; GODOY et al., 2023; REFFATTI, 2023; ROSA et al., 2021).

O capim-pé-de-galinha (*Eleusine indica*) tem emergido como uma preocupação crescente para os agricultores, destacando-se como uma erva daninha de difícil controle (PEREIRA et al., 2020). Sua capacidade de adaptar-se a diferentes ambientes e condições climáticas, juntamente com a resistência a muitos herbicidas convencionais, torna-o particularmente desafiador de ser contido nas lavouras de soja. Além de competir por nutrientes e água com as plantas cultivadas, o capim-pé-de-galinha pode reduzir a eficácia de herbicidas, comprometendo as práticas tradicionais de controle. Essa resistência e a capacidade de produzir sementes em abundância intensificam a complexidade do manejo.

2.1.1 Cultura da soja: avanços científicos e tecnológicos

A produção de soja tem experimentado uma notável evolução impulsionada pelos avanços científicos e tecnológicos (MARTINS et al., 2023). O melhoramento genético desempenhou um papel fundamental no desenvolvimento da cultura, produzindo variedades mais produtivas e resistentes a estresses ambientais, como a seca (RAMOS JUNIOR et al., 2019). De acordo com Borém et al. (2021), os cientistas têm se dedicado à criação de variedades geneticamente modificadas de soja, as quais demonstram maior resistência às condições climáticas adversas, incluindo secas e temperaturas extremas. Essas variedades desempenham um papel importante na manutenção da produtividade sob desafios climáticos (KHOKHARVOYTAS et al., 2023). Essas adaptações são essenciais para garantir a sustentabilidade da produção de soja no Cerrado, uma região sujeita a marcantes oscilações climáticas.

Os solos do Cerrado são ácidos e altamente intemperizados, com baixa fertilidade natural e suscetibilidade à erosão (NUNES et al., 2018; FUSHIMI et al., 2020). O plantio direto é uma prática amplamente utilizada pelos agricultores dessas regiões por preservar a cobertura vegetal residual da safra anterior e minimizar o revolvimento excessivo do solo e contribuir para a melhoria da qualidade do solo ao longo do tempo (SOUZA; SOUZA, 2023). Esse método

resulta na conservação da umidade do solo, promovendo uma maior eficiência no uso da água, especialmente, em uma região em que as chuvas são frequentemente irregulares e imprevisíveis (MANSUR, 2021).

As estratégias de gestão integrada de pragas e doenças também são formas de mitigar as perdas na produção e graças a essas práticas reduzem a erosão do solo, minimizando a perda de nutrientes e a degradação das terras (VOLTOLINI; GOIS, 2022). Para os agricultores na região do Cerrado, essas técnicas não apenas impulsionam a produtividade da soja, mas também promovem a sustentabilidade a longo prazo da agricultura na região, tornando-se estratégias fundamentais para enfrentar os desafios climáticos e ambientais característicos da região (ANDRADE et al., 2023).

Os avanços científicos e tecnológicos no maquinário agrícola têm desempenhado um papel fundamental na modernização e eficiência da produção da soja (PELEGRINI et al., 2022). Uma das inovações notáveis é a adoção generalizada de sistemas de plantio direto, nos quais máquinas especializadas permitem a semeadura sem a necessidade de preparo intensivo do solo, reduzindo a erosão e melhorando a conservação do solo (MENEGETTE et al., 2019). Além disso, a automação e a telemetria têm transformado a gestão de maquinário agrícola, permitindo o monitoramento em tempo real e a coleta de dados precisos sobre o desempenho operacional (SOUZA, 2021).

Outro avanço relevante relaciona-se às máquinas de colheita, que incorporam tecnologias como sensores ópticos, para uma colheita mais eficiente e seletiva (MENDES, 2022). Esses sistemas podem identificar e separar grãos de soja maduros, reduzindo as perdas e aumentando a qualidade da colheita. Além disso, o desenvolvimento de implementos mais precisos, como pulverizadores de taxa variável e sistemas de aplicação de insumos controlados por GPS, contribui para a otimização dos recursos, minimizando desperdícios e reduzindo custos operacionais (TREMEA, 2023).

A robótica e a inteligência artificial também começam a desempenhar um papel promissor na agricultura de precisão para a soja. As máquinas autônomas e equipamentos controlados por algoritmos avançados têm o potencial de aumentar a eficiência, reduzir a dependência de mão de obra e melhorar a precisão nas operações agrícolas (FRASE, 2020).

Esses avanços tecnológicos nos maquinários não apenas impulsionam a produtividade, mas também contribuem para uma abordagem mais sustentável, minimizando impactos ambientais e otimizando o uso de recursos. A constante evolução nesse setor promete continuar transformando a agricultura, proporcionando soluções inovadoras para os desafios enfrentados pelos produtores de soja (FLAIR, 2023).

2.1.2 Bactérias promotoras do crescimento de plantas

A inoculação de bactérias promotoras do crescimento de plantas (BPCPs) tem se destacado como uma estratégia promissora na cultura da soja, oferecendo benefícios, especialmente em condições de estresse hídrico (NASCIMENTO, 2023). Algumas cepas específicas, como aquelas pertencentes ao gênero *Rhizobium* e *Azospirillum*, têm demonstrado a capacidade de estabelecer simbiose benéfica com as raízes da soja (DAVID, 2023).

Essas bactérias têm a habilidade de fixar nitrogênio atmosférico e convertê-lo em formas assimiláveis às plantas, contribuindo para uma nutrição nitrogenada mais eficiente. Além disso, as BPCPs podem produzir substâncias promotoras de crescimento, como fitohormônios e enzimas, que estimulam: o desenvolvimento radicular, a absorção de nutrientes e, notavelmente, conferem maior tolerância ao estresse hídrico (MACHADO, 2019).

As BPCPs, em particular as pertencentes ao gêneros como *Rhizobium* e *Azospirillum*, têm demonstrado a capacidade de auxiliar na tolerância ao estresse hídrico em culturas como a soja (AHMAD, 2023). A interação simbiótica entre essas bactérias e as raízes das plantas pode resultar em benefícios específicos que mitigam os efeitos adversos do estresse hídrico (LEONÍDIO, 2022).

Assim, a inoculação com BPCPs emerge como uma estratégia viável e eficaz na otimização do desempenho da cultura da soja, especialmente diante dos desafios associados ao estresse hídrico, conferindo resiliência e sustentabilidade ao sistema de produção agrícola (DIAS, 2023).

2.1.3 Cultivares tolerantes a seca e déficit hídrico

A busca por cultivares de soja capazes de resistirem ao estresse hídrico, especialmente em regiões suscetíveis à seca, tem sido uma prioridade para a agricultura moderna (SILVA FILHO, 2022). O estresse hídrico afeta diversas fases do ciclo de vida da soja, e a seleção de cultivares adaptadas é fundamental para mitigar esses impactos (GUNDIM, 2022; VOLTOLINI; GOIS, 2022). Dada a variabilidade climática do Cerrado, a seleção de cultivares de soja que sejam tolerantes à seca e ao déficit hídrico passam a ser uma prioridade na escolha da cultura (YOKOMIZO et al., 2022).

Nesse contexto desafiador, a importância das cultivares de soja tolerantes ao estresse hídrico assume um papel de destaque. Essas variedades apresentam a notável capacidade de manter o crescimento em altura e a produtividade mesmo em condições de disponibilidade

hídrica limitada (GAVA et al., 2015). O resultado é a capacidade de mitigar os impactos negativos da escassez de água, oferecendo aos agricultores uma solução viável para enfrentar os desafios impostos pelas condições climáticas (VALE, 2020).

Dentre essas cultivares, a TMG 2383 IPRO é amplamente reconhecida por suas notáveis características de tolerância ao estresse hídrico. Ela se destaca por sua eficiência no uso da água, o que significa que pode manter seu crescimento e produtividade mesmo com uma quantidade substancialmente reduzida de água disponível, principalmente em ambientes caracterizados por chuvas irregulares e períodos de seca prolongados (CABRAL, 2022).

Além disso, a BMX Bônus IPRO é outra cultivar de soja de destaque, sendo igualmente adequada para o cultivo em solos com baixa disponibilidade hídrica, uma vez que exibe tolerância moderada ao déficit hídrico (SOUZA, 2019). Assim, as cultivares de soja mencionadas representam opções para regiões afetadas pela escassez de água, além de outras cultivares notáveis, como: ST 777 IPRO, TMG 7061 IPRO e RL 8317 IPRO, que se destacam como algumas das mais resistentes ao estresse hídrico disponíveis e essas variedades podem ser cultivadas com sucesso em locais em que a disponibilidade de água no solo é limitada, ou quando a distribuição de chuvas ao longo do ciclo da cultura é irregular, seu desempenho e produtividade são menos dependentes das condições hídricas ideais, proporcionando uma maior segurança e resiliência aos agricultores, que enfrentam os desafios decorrentes das condições climáticas, em constante evolução (CABRAL; SILVA; STEINER, 2019).

2.1.4 Estresse na germinação e emergência

Durante a fase inicial, tanto a abundância, quanto a escassez de água podem ser prejudiciais ao estabelecimento da cultura e à consecução de uma distribuição uniforme na população de plantas, sendo que o excesso hídrico é mais restritivo do que a deficiência. Para garantir uma germinação eficaz, é essencial que a semente de soja absorva pelo menos 50% de seu peso em água (MONTEIRO, 2009).

O início do ciclo fenológico da soja, notadamente a fase de germinação e emergência, se revela como um estágio de elevada suscetibilidade à escassez hídrica (FARIAS et al., 2022). A insuficiência de umidade do solo pode induzir à germinação desuniforme e, em situações extremas, culminar em falhas na emergência das plântulas e em resposta a esses desafios, as pesquisas têm direcionado esforços ao desenvolvimento de genótipos de soja dotados de sementes mais resilientes à seca, capazes de germinar de modo eficaz sob condições de déficit hídrico (LUDWIG et al., 2023).

2.1.5 Estresse na floração e formação de vagens

A etapa de floração e desenvolvimento das vagens na cultura da soja assume um papel crítico na determinação do potencial produtivo de grãos, logo é de suma importância na definição do potencial de produção de grãos (SILVA et al., 2022). A carência de disponibilidade hídrica durante essa fase pode desencadear um decréscimo na formação de vagens, resultando, por conseguinte, na redução da produtividade e dentro dessa perspectiva, a seleção criteriosa de cultivares caracterizadas pela acentuada tolerância à seca durante o período de floração se configura como um imperativo, visando à minimização das perdas (NICOLAU NETO, 2023). A influência adversa da insuficiência hídrica nessa fase deve-se, em parte, à redução da capacidade de fixação de flores e à diminuição da disponibilidade de recursos para o crescimento das vagens (DIAS, 2023).

As pesquisas têm priorizado a identificação e seleção de cultivares de soja que demonstram um notável grau de tolerância à seca durante a fase crítica de floração e formação de vagens (SILVA, 2023). As cultivares repetidamente caracterizadas por mecanismos fisiológicos, que minimizam os efeitos do estresse hídrico, têm se destacado como uma solução promissora para mitigar as perdas de produtividade sob condições de déficit de água (DUARTE, 2021; SILVA, 2023).

A busca por cultivares que resistem de maneira eficaz ao estresse hídrico durante a floração representa um avanço notável na adaptação da soja a ambientes propensos à irregularidade das chuvas (TAVARES, 2022). O desenvolvimento de tais cultivares tem o potencial de otimizar a produção e a sustentabilidade da cultura, garantindo uma produção estável em face das incertezas climáticas inerentes à agricultura (DEMINSKI, 2022).

3 MUDANÇAS CLIMÁTICAS

As mudanças climáticas, em sua essência, traduzem-se em alterações profundas e duradouras nos padrões climáticos da Terra. Essas transformações abarcam um espectro de desafios, desde o aumento das temperaturas médias globais até a ocorrência mais frequente de eventos climáticos extremos e flutuações nas condições de precipitação (GAVA et al., 2018).

De forma direta, o impacto das mudanças climáticas se faz sentir de maneira evidente na agricultura, com efeitos diretos na produtividade, qualidade e resiliência das culturas. As

mudanças climáticas emergem como um dos desafios mais prementes da atualidade, com implicações que transcendem as fronteiras geográficas, afetando a agricultura e a segurança alimentar global (SILVA et al., 2020). Além disso, as mudanças climáticas têm o potencial de exercer um impacto adverso sobre a biodiversidade e de contribuir para o avanço da desertificação. Esses desdobramentos estão, em parte, associados à redução da evapotranspiração e, por consequência, à redução das precipitações, entre outros fatores correlacionados (TAVARES, ARRUDA, SILVA, 2019).

Globalmente, as mudanças climáticas têm sido amplamente documentadas e reconhecidas por órgãos científicos e governamentais. O aumento na concentração de gases de efeito estufa na atmosfera, resultante das atividades humanas, tem dado origem ao fenômeno do aquecimento global e a modificações profundas nos sistemas climáticos (ASSAD, 2021).

A base de evidências científicas, que sustentam as mudanças climáticas é substancial, conforme documentado por vários estudos (LEITE et al., 2020; PINTO; LIMA, 2020; ANDERSON et al., 2021; LIBEL et al., 2021; BORSARI; BALES, 2022; SCHVAMBACH, 2023). Relatórios do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) ressaltam que as concentrações atmosféricas de dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O) atingiram níveis sem precedentes nos últimos séculos. Simultaneamente, as temperaturas globais estão em ascensão, os oceanos estão se aquecendo e o volume de gelo nas regiões polares diminui rapidamente (ALLEY et al., 2021).

Os impactos decorrentes das mudanças climáticas são ubíquos e impactam diversas esferas, desde o aumento do nível do mar devido ao derretimento das calotas polares e geleiras, ameaçando áreas costeiras, até o potencial de incremento na frequência e intensidade de eventos climáticos extremos, como: furacões, secas, enchentes e incêndios florestais. Esses eventos têm provocado impactos adversos na biodiversidade, conduzindo a extinções e desequilíbrios nos ecossistemas, além de criar desafios consideráveis para a agricultura, ameaçando a segurança alimentar (ABREU et al., 2022; AGUIAR et al., 2022; SOUZA et al., 2023).

Um exemplo notável das consequências dessas variações climáticas reside nas mudanças nos padrões de chuva, tanto em termos de quantidade, quanto de intensidade (SCARAMUZZI et al., 2023). Essas alterações têm deflagrado uma série de eventos, desde inundações, até períodos de seca, impactando no ambiente e influenciando a dinâmica dos ecossistemas, bem como: ciclos biológicos, geográficos e químicos (SILVA, 2023). Essas transformações acarretam o potencial de aumentar a prevalência de doenças infecciosas e respiratórias, com um impacto mais acentuado nas nações em desenvolvimento (FERNANDES et al., 2020).

3.1 Mudanças climáticas no Brasil e influência no cultivo de soja

As mudanças climáticas representam um desafio de grande magnitude para as nações que abrigam vastas extensões florestais, como o Brasil, com sua riqueza de biodiversidade que se estende por todo o território, incluindo a Floresta Amazônica e diversos biomas (FRANCO et al., 2019). Além disso, o Brasil é propenso a experimentar eventos climáticos extremos, como secas prolongadas, inundações e ondas de calor, que exercem impacto direto sobre a agricultura (QUEIROZ et al., 2022; ALMEIDA, 2023; RODRIGUES et al., 2023). A vulnerabilidade do Brasil a essas mudanças climáticas é notória, não apenas devido a sua extensão territorial, mas também a sua profunda dependência da agricultura. Os efeitos das mudanças climáticas abrangem, desde a diminuição da produção agrícola, até o aumento na frequência de eventos climáticos extremos, que se caracterizam por períodos longos de estiagem e seca, considerados como: veranicos, alagamentos, inundações, chuvas fortes e ventos fortes (MARENGO; SOUZA JUNIOR, 2018).

As mudanças climáticas exercem forte impacto sobre o ciclo fenológico da soja, pois desempenham um papel central na produtividade da cultura (EVANGELISTA et al., 2022). Durante o início do período de semeadura da safra (2020/2021), por exemplo, foi observada uma redução no volume de chuvas, acompanhada de atrasos nas precipitações no momento ideal para o plantio. Isso, por sua vez, pode comprometer a "janela" de plantio da safra de milho no ano seguinte, na mesma área, após a colheita da soja. Essa situação impacta negativamente a renda dos agricultores e resulta em uma menor disponibilidade de grãos (TOMAZELA, 2020). Em resposta às alterações climáticas, a cultura da soja precisa se adaptar a condições climáticas em constante mutação, incluindo modificações nos padrões de chuva e ocorrência de temperaturas extremas. Nesse contexto, a pesquisa científica desempenha um papel importante na identificação de variedades de soja mais resistentes e adaptadas às condições climáticas atuais e futuras (GARCIA, 2021).

A quantidade de água disponível é um dos fatores climáticos que mais influenciam o desenvolvimento e a produtividade da soja (MINOSSO et al., 2021). Eventos climáticos como veranicos, caracterizados por curtos períodos de estiagem, geralmente com duração de até vinte dias durante a estação chuvosa, afetam atividades de preparo do solo, semeadura, aplicação de defensivos, irrigação e colheita (RODRIGUES et al., 2018).

Os agricultores enfrentam desafios na gestão desses estágios à medida que os padrões de chuva se tornam menos previsíveis, com impactos diretos na produtividade das culturas (FIGUEIRA, 2021). Além disso, a exposição a doenças que afetam a soja também é

influenciada pelas alterações climáticas, já que os patógenos muitas vezes prosperam em condições de temperatura e umidade variável. Dessa maneira, a pesquisa contínua e o desenvolvimento de variedades de soja mais resistentes e práticas de manejo adaptadas às novas condições climáticas são fundamentais para garantir a segurança alimentar e a sustentabilidade da agricultura no Brasil (SOUZA et al., 2022).

4 TENDÊNCIAS CLIMÁTICAS: UMA ABORDAGEM CIENTÍFICA

A análise de tendências climáticas constitui um pilar fundamental na compreensão das mudanças climáticas em diferentes escalas, desde global até regional, bem como, na projeção do comportamento meteorológico em um horizonte temporal definido (FERREIRA; VALVERDE, 2022). Esse processo complexo engloba a meticulosa coleta, tratamento e interpretação de dados climáticos ao longo de extensos períodos, viabilizando a identificação de padrões e tendências climáticas que exercem influência sobre setores importantes, notadamente o agrícola (JARNEVICH et al., 2015).

A análise de tendências climáticas abrange uma abordagem empiricamente sólida, valendo-se de vastos conjuntos de dados meteorológicos para identificar mudanças nos padrões climatológicos e essas mudanças podem englobar: alterações na temperatura média, eventos extremos mais frequentes, flutuações nas precipitações, entre outros parâmetros (SILVA et al., 2020; ALMEIDA 2023; BEZERRA, 2023; KOLLING NETO et al., 2023).

Os avanços na modelagem climática e nas técnicas estatísticas possibilitam uma compreensão mais aprofundada das tendências climáticas, com a capacidade de discriminar entre variabilidades naturais e mudanças atribuíveis às atividades humanas (GASPARIN, 2021). É essencial para contextualizar as mudanças climáticas em curso e projetar cenários futuros com base em diferentes trajetórias de emissões de gases de efeito estufa (LEGG, 2021).

A agricultura, como setor primordial e suscetível às flutuações climáticas, depende substancialmente das análises de tendências climáticas para o planejamento de safra, seleção de culturas e otimização de práticas agrícolas (GONDIM, 2021). Compreender os padrões climáticos emergentes e as projeções de mudanças futuras é necessário para a tomada de decisões informadas e a adaptação eficaz às realidades climáticas mutantes (NARDIN, 2023). Nesse contexto, as análises de tendências climáticas representam um campo interdisciplinar,

no qual cientistas, climatologistas, meteorologistas e agrônomos convergem para fornecer *insights* fundamentados que impulsionam a resiliência da agricultura e a segurança alimentar diante de desafios climáticos em evolução constante (SENA, 2022).

4.1 Modelos climáticos: fundamentos e aplicações avançadas

Os modelos climáticos, são ferramentas para análises de tendências climáticas e projeções de cenários futuros, representam uma vertente relevante na pesquisa climatológica (SILVA et al., 2023). Esses modelos são construídos com base em princípios físicos e matemáticos que simulam os complexos processos atmosféricos, oceânicos e terrestres, proporcionando a capacidade de prever as variações climáticas e suas implicações para diferentes regiões (MELO, 2021). Os modelos climáticos incorporam uma variedade de técnicas que podem ser implementadas através de softwares especializados, tais como: EcoMod, VisTrails SAHM, BIOCLIM e CLIMEX (MORISSETTE et al., 2013; BOOTH et al., 2014; KRITICOS et al., 2015).

O modelo climático BIOCLIM é notável por sua aplicação na ecologia e conservação da biodiversidade, destaca-se como um método eficaz para analisar e prever a distribuição geográfica de espécies com base em variáveis climáticas (BERNER, 2022). Ele utiliza parâmetros como: temperatura média, precipitação, sazonalidade e extremos climáticos para criar perfis climáticos específicos para cada espécie estudada. Comparando esses perfis com registros de ocorrência da espécie, o modelo BIOCLIM identifica padrões climáticos associados a sua distribuição, e simplicidade de uso, que o torna acessível a pesquisadores e conservacionistas (BOOTH et al., 2014).

O VisTrails SAHM (*Spatial Analysis in Macroecology using SAHM*) é uma ferramenta de modelagem climática que se destaca por sua abordagem integrada na análise espacial e temporal de dados ecológicos. Unindo a modelagem climática a técnicas avançadas de análise espacial, o VisTrails SAHM oferece perspectivas inovadoras para cientistas que estudam ecologia e conservação da biodiversidade (AKPOTI et al., 2020). Com uma interface gráfica intuitiva e capacidade de integração de dados climáticos, o VisTrails SAHM permite análises espaciais avançadas e flexibilidade customizada (MORISSETTE et al., 2013).

As ferramentas de modelagem climática desempenham um papel fundamental na análise de tendências climáticas no Brasil em especial, o Modelo Climex, especializado na modelagem climática regional, contribui para a compreensão das mudanças climáticas em nível regional e seu impacto em setores críticos, como a agricultura (MESQUITA et al.,

2019). Sua capacidade de fornecer informações valiosas auxilia na tomada de decisões informadas, promovendo a resiliência e a sustentabilidade em face de desafios climáticos em constante evolução (CPTEC, 2021).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, V. H. S. de.; MONTEIRO, T. G. M.; RIBEIRO, F. B.; SANTOS, A. S. Identificação de ameaças e impactos da mudança climática na infraestrutura de transporte rodoviário. **MIX Sustentável**, v.8, n.3, p.142-156, 2022.

AGUIAR, C. G. B. de; MONTEIRO, P. O.; BATISTA, A. J. Negacionismo e mudanças climáticas. **Revista Ciências Humanas**, v.15, n.3, 2022

AHMAD, E. M.; KUHN, A.; BLANKE, A. M.; BARBOSA, G. J. K.; VIEIRA, R. C. B. Co-inoculação de bactérias promotoras de crescimento de plantas na cultura da soja. **Jornada de iniciação científica e tecnológica**, 2023.

AKPOTI, K.; KABO-BAH, A. T.; DOSSOU YOVO, E. R.; GROEN, T. A.; ZWART, S. J.. Mapeamento da adequação para a produção de arroz em paisagens de vales interiores no Benin e no Togo usando modelagem de nicho ambiental. **Ciência do meio ambiente total**, v.709, p.136165, 2020.

ALLEY, R.; BERNTSEN, T.; BINDOFF, N. L.; CHEN, Z.; CHIDTHAISONG, A.; FRIEDLINGSTEIN, P.; GREGORY, J.; HEGERL, G.; HEIMANN, M.; HEWITSON, B.; HOSKINS, B.; JOOS, F.; JOUZEL, J.; KATTISOV, V.; LOHMANN, U.; MANNING, M.; MATSUNO, T.; MOLINA, M.; NICHOLLS, N.; OVERPECK, J.; QIN, D.; RAGA, G.; RAMASWAMY, V.; REN, J.; RUSTICUCCI, M.; SOLOMON, S.; SOMERVILLE, R.; STOCKER, T. F.; STOTT, P.; STOUFFER, R. J.; WHETTON, P.; WOOD, R. A.; WRATT, D. **Climate change 2021: the physical science basis. Contribution of working group I to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change**, v. 2, 2021.

ALMEIDA, E. K. A. de. **Análise da gestão do desastre tipificado como seca no Brasil: uma contribuição metodológica à gestão de riscos e desastres**. 2023. Universidade Estadual Paulista (Unesp)

ALMEIDA JÚNIOR, J. J.; SMILJANIC, K. B. A.; MATOS, F. S. A.; PEREIRA, R. M.; PEROZINI, A. C.; SALVADORI, H. R.; SILVA, V. J. A. Remineralizador de solo utilizado como fertilizante na cultura da soja implantada no cerrado. **Conjecturas**, v. 22, n. 9, p. 402-414, 2022.

ANDERSON, P. R.; JÚNIOR MERGULHÃO, C.; JÚNIOR STOFFES, M. J.; STEIN, C. R. Simulação do Efeito Estufa, da intensificação do Efeito Estufa pela presença de CO₂ e do impacto da mudança da cobertura da Terra na temperatura média do meio utilizando o Arduino. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.43, p.e20200355, 2021.

ANDRADE, I. D. O.; MONT'ALVERNE, T. C. F.; DI PASQUALE, A. I.; SILVA, S. T. D. A Organização das Nações Unidas e o objetivo de desenvolvimento sustentável 14: desafios para o Brasil na década do oceano. **SUMÁRIO EXECUTIVO**. 2023. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/12243> acesso em 20 de outubro de 2023

ASSAD, E. D. Sistemas agrícolas adaptados às mudanças climáticas. **Ciência e Cultura**, v.73, n.1, p.35-40, 2021.

BERNER, J. F. Evaluation and Performance of Ecological Niche Models in South America: a whip-spider case study. 2022.

BEZERRA, F. N. R.; ARAÚJO, J. A. de; SOUZA, N. E. de; LIMA, C. F. de. Exportações frutícolas brasileiras e mudanças climáticas: evidências à luz do modelo gravitacional. **Revista Econômica do Nordeste**, v.54, n.4, p.8-27, 2023.

BOOTH, T. H.; NIX, H. A.; BUSBY, J. R.; HUTCHINSON, M. F. BIOCLIM: the first species distribution modelling package, its early applications and relevance to most current MAXENT studies. **Diversity and Distributions**, v.20, p.1-9, 2014.

BORÉM, A.; MIRANDA, G. V.; FRITSCHÉ-NETO, R.. Melhoramento de plantas. Oficina de Textos, 2021.

BORGES, I. M. **Análise de práticas sustentáveis e viabilidade financeira para a construção de uma casa popular no município de Rio Verde–GO**. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Bacharelado em Engenharia Ambiental). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Rio Verde, Rio Verde, GO, 2023.

BORSARI, V.; BALES, M. P.. Emissões Veiculares e Mudanças Climáticas: o controle da emissão de gases de efeito estufa para veículos leves. **Revista Ambiente**, v.1, 2022.

BRESSIANI, E. E.; CHIELLE, E. O.; VIDIGAL, T. M. A.; ROSSI, E. M. **Avaliação da concentração sérica de chumbo e sua relação com marcadores bioquímicos e hematológicos em população ambientalmente exposta à agrotóxicos**. Journal Archives of Health, v. 4, n. 3, p. 1098-1107, 2023.

CABRAL, do C. R.; ZUFFO, A. M.; MAEKAWA, S. C. E.; SILVA, K. C.; STEINER, F. Identificação de cultivares de soja para tolerância aos estresses hídrico e salino durante a fase de estabelecimento da plântula. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v.15, n.4, p.1-20, 2022.

CABRAL, do C. R.; SILVA, K. C.; STEINER, F. **Fronteiras para a sustentabilidade 2 – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019. (Fronteiras para a Sustentabilidade; v.2)**

CAGLIARI, D.; SMAGGHE, G.; ZOTTI, M.; TANING, C. N. T. RNAi and CRISPR/Cas9 as functional genomics tools in the neotropical stink bug, *Euschistus heros*. **Insects**, v.11, n.12, p.838, 2020.

CAMOCHENA, R. C.; STEILMAN, P.; SANTOS, I.; GIARETTA, R. D.; OLIVEIRA, M. de C. Ação de fosfitos de potássio no manejo de mofo branco em soja. **Summa Phytopathologica**, v.46, p.260-266, 2020.

CARVALHO FILHO, A. M. **Avaliação da conservação hídrica em sistemas de produção de milho e soja, por meio da temperatura foliar, na região do SEALBA**. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 62f. 2023.

CATELAN, D.; CARVALHO, T.; ALMEIDA V. V. de. **Eventos climáticos extremos no Brasil e impactos econômicos provenientes de mudanças na produtividade agrícola**. Núcleo de Estudos em Desenvolvimento Urbano e Regional, Universidade Federal do Paraná, 2022.

CHICOWSKI, A. S.; BREDOW, M.; UTIYAMA, A. S.; GUIMARÃES, F. C. M.; WHITHAM, S. A. Soybean-Phakopsora pachyrhizi interactions: towards the development of next-generation disease-resistant plants. **Plant Biotechnology Journal**, 2023.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Safra Brasileira de Grãos**. Levantamento de 06/2023, 2023.

COSTA, D. M. Ecoarqueologia das mudanças climáticas: da resiliência pré-histórica à sustentabilidade contemporânea. **Revista de Arqueologia**, v. 36, n. 2, p. 274-298, 2023.

COSTAMILAN, L. M.; BERTAGNOLLI, P. F.; MELO, C. L. P. de.; SOARES, R. M.; CLEBSCH, C. C. Resistência a *Phytophthora* sojae em genótipos de soja, em 2022. **CIRCULAR TECNICA 69**. ISSN 1518-6490, 2023.

CPTEC - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. (2021). Brasil, 2021. El Niño <http://enos.cptec.inpe.br/elniño/pt>

CUTISQUE, A. M. **Correlação entre precipitação e a produtividade agrícola nos municípios de Francisco Beltrão e Pato Branco, Paraná**. 2022. TCC (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/31248>. Acesso em 20 de outubro de 2023.

DALMOLIN, B. L. **Qualidade da semeadura da soja na Região Noroeste do Rio Grande do Sul**. 2023. TCC (Trabalho de conclusão de curso de agronomia). Universidade Federal de Santa Maria. Frederico Westphalen, RS.

DANTAS, H. C. M. **Análise sanitária e vigor de linhagens de sementes de soja (*Glycine max* (L.) Merr)**. 2023. Disponível em <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/29164> acesso em 21 de outubro de 2023

DAVID, G. Q. **Mecanismos de biocontrole e promoção de crescimento de cepas de *Trichoderma* na cultura da soja**. 2023. TESE (doutorado em agronomia). Programa de pós graduação em agronomia. Universidade estadual paulista “Julio Mesquita”. Ilha Solteira. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/65d723a3-d027-40ce-a830-72339cb57596/content> acesso em 12 de novembro de 2023.

DE MELLO, E. S.; BRUM, A. L. A cadeia produtiva da soja e alguns reflexos no desenvolvimento regional do Rio Grande Do Sul. **Brazilian Journal of Development**, v.6, n.10, p.74734-74750, 2020.

DEMINSKI, L. H. **Aplicação de hidrogel com doses de sulfato de potássio no desenvolvimento da cultura da soja**. 2022. 60 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel. Disponível em <https://tede.unioeste.br/handle/tede/6365> Acesso em 20 de outubro de 2023.

DIAS, V. S. **Agricultura regenerativa: estudo de caso em lavoura comercial de soja no município de Rosário do Sul, Rio Grande do Sul**. 2023. DISSERTAÇÃO (mestrado em agricultura de precisão). Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, da Universidade Federal de Santa Maria – RS. Disponível em: https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/30238/DIS_PPGAP_2023_DIAS_VINICIUS.pdf?sequence=1&isAllowed=y Acesso em 12 de novembro de 2023.

DOURADINHO, R. S. **Aplicação de feixe de elétrons para esterilização de mosto obtido a partir da hidrólise de milho em caldo de cana energia, visando à produção de etanol**. 2023. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/T.105.2023.tde-14092023-164028> Acesso em 11 de novembro de 2023.

DUARTE, O. R. **Cultivo de soja no Cerrado de Roraima**. Embrapa Roraima Sistema de Produção, 1 ISSN 1809-2675. Versão Eletrônica 3ª edição | Aug/2021.

ESPÍNDOLA, I. B.; RIBEIRO, W. C.. Águas transfronteiriças e mudanças climáticas: desafios para a segurança hídrica na América do Sul. **Revista USP**, v. 1, n. 138, p. 119-134, 2023

EVANGELISTA, B. A.; CAMPOS, L. J. M.; SILVA, F. A. M. da.; SIMON, J.; RIBEIRO, I. L.; VALE, T. M. do. Possíveis Impactos das Mudanças Climáticas Sobre o Zoneamento Agrícola de Risco Climático da Cultura da Soja no Estado do Tocantins. **ÓdôZũZdĀ**, p.167, 2022.

FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. Ecofisiologia da soja. Londrina: **Embrapa Soja**, 2007. (Circular técnica, n. 48). FEBRAPDP, Federação Brasileira do Sistema de Plantio Direto, 2022

FERNANDES, T.; HACON, S. de S.; NOVAIS, J. W. Z. Variabilidade das chuvas e sua relação com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável em populações expostas a mudanças hídricas no sudeste da Amazônia paraense. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.3, n.4, p.1519-1536, 2020. doi: 10.26848/rbgf.v13.4.p1519-1536.

FERREIRA, B. C. C.; VALVERDE, M. C. Análise dos índices extremos de precipitação em cenários futuros na bacia do rio Ribeira de Iguape-São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.37, p.41-55, 2022.

FIGUEIRA, F. G. C. **Mecanismos de gestão de risco na agricultura-enfoque nos seguros agrícolas com vista à análise crítica da legislação vigente**. 2021. Tese de Doutorado. ISA/UL.

FIGUEIREDO, M. C. dos S. Correlação de nutrientes e calibração da adubação boratada em pomares de oliveira (olea europaea l.) da Cultivar Arbequina no Sul do Brasil. 2022.

FIETZ, C. R.; RANGEL, M. A. S. Efeito da deficiência hídrica e do fotoperíodo no rendimento de grãos da soja semeada na região de Dourados, MS. Comunicado Técnico 89, Embrapa, 2004.

FILIPPINI, L. O. **Performance termoenergética de uma edificação com materiais de mudança de fase sob projeções de mudanças climáticas. 2023.** SBQP 2023 SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. – Pelotas, RS, Brasil, 16 a 18 de Novembro de 2023.

FLAIR, IPSOS. **NOSTALGIA OU PERSPECTIVAS.** 2023. Disponível em: <<https://www.ipsos.com/pt-br/flair-brasil-2024-nostalgia-ou-perspectivas>>

FOREZI, L. S. M. Aqui tem química! **Interciência**, 2023.

FRANCO, V.; de SOUZA, E. B.; COSTA, C. P. W. da; BATISTA, D.; AZEVEDO, F. T. M. Prognóstico sazonal da precipitação pluviométrica para o verão e outono austral da Amazônia Oriental. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.12, n.1, p.57-70, 2019.

FRASE, P. Quatro futuros: a vida após o capitalismo. **Autonomia Literária**, 2020.

FUSHIMI, M.; OLIVEIRA, R.; LISBOA, G. S.; FERREIRA, B. S.; SILVA, P.; NUNES, J. O. R. Caracterização físico-química de solo raso a desenvolvido (associação Neossolo Quartzarênico) e solo hidromórfico (associação Gleissolo Háptico): o contexto ambiental da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís-MA. **Brazilian Geographical Journal**, v.11, n.1, p.4-18, 2020.

GARCIA, A. C. Climate change impacts on soybean production: A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v.41, n.2, p.1-16, 2021.

GASPARIN, P. P. **Análise da variabilidade agrometeorológica e espectral associada ao ciclo da soja e estimativa da produtividade com imagens de satélites.** 2021. 187 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel - PR. Disponível em <http://tede.unioeste.br/handle/tede/5586> acesso em 23 de outubro de 23

GAVA, R.; FRIZZONE, J. A.; SNYDER, R. L.; JOSE, J. V.; FRAGA JUNIOR, E. F. F.; PERBONI, A. O estresse hídrico em diferentes fases da cultura da soja. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada-RBAI**, v.9, n.6, p.349-359, 2015.

GAVA, G. J. C.; SILVA, A. S.; SILVA, R. C. Produtividade de três cultivares de cana-de-açúcar sob manejo de sequeiro e irrigação por gotejamento. **Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.3, p.250-255, 2015.

GAVA, R., LIMA, S. F. D.; SANTOS, O F. D.; ANSELMO, J. L.; COTRIM, M. F.; KÜHN, I. E. Lâminas de irrigação para diferentes cultivares de soja em pivô central. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.22, p.10-15, 2018.

GODOY, C. V.; UTIAMADA, C. M.; MEYER, M. C.; CAMPOS, H. D.; LOPES, I. de O. N.; TOMEN, A.; CARVALHO, A. G. de.; mochko, a. C. R. **Eficiência de fungicidas para o controle da ferrugem-asiática da soja, *Phakopsora pachyrhizi*, na safra 2022/2023: resultados sumarizados dos ensaios cooperativos.** INFOTECA-E. 2023. Disponível em <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1154837> acesso em 21 de outubro de 2023.

GOMES, M. R. Evolução e Perspectivas de desempenho econômico e produção da soja nos contextos brasileiro e paranaense. **Revista (RE) Definições das Fronteiras**, v.1, n.2, p.349-360, 2023.

GONDIM, A. R. O. de; SILVA, M. C. S. de.; ALMEIDA, F. A. de; OLIVEIRA, A. G. de; FERREIRA, L. V. Instalação e planejamento do pomar. **A Cultura da Romãzeira**, 2021

GUNDIM, A. da S. **Potencial de mitigação de perdas por déficit hídrico na cultura da soja pela aplicação dos fungos *Beauveria bassiana* e *Metarhizum anisopliae* no sulco de plantio**. 2022. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

HANKE, D.; TASCHETTO, G. H.; NASCIMENTO, S. G. da S.; ÁVILA, M. R.; NUNES, O. M. Percepção dos produtores de soja sobre o processo de difusão do controle biológico e manejo integrado de pragas. **Nativa**, v.10, n.4, p.558-565, 2022.

HOROWITZ, A. R.; GHANIM, M.; RODITAKIS, E.; ISHAAYA, I. Insecticide resistance and its management in *Bemisia tabaci* species. **Journal of Pest Science**, v.93, n.3, p.893-910, 2020.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Levantamento sistemático da Produção Agrícola no município de Rio Verde, 2022.

IPCC- Intergovernmental Panel on Climate Change. The Science of Climate Chang. –**The Scientific Basis –Contribution of Working Group 1 to the IPCC**. The Assessment Report, Cambridge University, 2015.

IPCC Intergovernmental **Panel on Climate Change: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II, and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Geneva, Switzerland: IPCC, 2014.

JARNEVICH, C. S.; STOHLGREN, T. J.; KUMAR, S.; MORISETTE, J. T.; HOLCOMBE, T. R. Caveats for correlative species distribution modeling. *Ecological Informatics* v.29, p.6-15, 2015.

KHOKHARVOYTAS, A.; SHAHBAZ, M.; MAQSOOD, M. F.; ZULFIQAR, U.; NAZ, N.; IQBAL, U. Z.; ALSHAQHAA, M. A Genetic modification strategies for enhancing plant resilience to abiotic stresses in the context of climate change. **Functional & Integrative Genomics**, v.23, n.3, p.283, 2023.

KOLLING NETO, A.; PAIVA, R. C. D. D.; COLLISCHONN, W.; RIBEIRO, L. D. C.; MIRANDA, P. T.; FAGUNDES, H. D. O.; SOUZA, S. A. D. Sensibilidade de vazões às mudanças climáticas do regime de precipitação na américa do sul. **Encontro Nacional de Desastres (3.: 2023: Niterói, RJ). Eventos extremos e sociedade sob a perspectiva das mudanças climáticas [recurso eletrônico]**. Porto Alegre: ABRHidro, 2023.

KRITICOS, D. J; MAYWALD, G. F.; YONOW, T.; ZURCHER, E. J.; HERRMANN, N. I.; SUTHERST, R. W. **CLIMEX Version 4: exploring the effects of climate on plants, animals and diseases**. **CSIRO**, Canberra, 2015.

LARA, R. I. R.; PERIOTO, N. W.; RAMIRO, Z. A. Número mínimo de armadilhas de Möricke em amostragem de himenópteros parasitóides na cultura da soja *Glycine max* (L.) Merrill. **Arquivos do Instituto Biológico**, v.76, p.55-59, 2021.

LEGG, S. IPCC, 2021: Mudanças climáticas 2021 – a base da ciência física. **Interação**, v.49, n.4, p.44-45, 2021.

LEITE, V. P.; DEBONE, D.; MIRAGLIA, S. G. EL. K. Emissões de gases de efeito estufa no estado de São Paulo: análise do setor de transportes e impactos na saúde. **VITTALLE-Revista de Ciências da Saúde**, v.32, n.3, p.143-153, 2020.

LEONÍDIO, R. L. **Fungos micorrízicos em solo do cerrado cultivado com soja sob déficit hídrico e resíduo agroindustrial**. Tese de Doutorado. Instituto Federal de Educação, 2022.

LHAMAS, L. da S.; LHAMAS, L. da S.; JOVINO, M. de C.; SILVA, F. R.; TOLEDO, A. M.; MANFIO, B. G.; SILVA, E. D.; COSSA, C. A. Extrato pirolenhoso de *Eucalyptus* sp., no tratamento de sementes de *Glycine max* L. e seus efeitos na emergência e desenvolvimento de plântulas. **REVISTA FOCO**, v.16, n.7, p.e2068-e2068, 2023.

LIBEL, G. C.; LATINI, I. P.; HERCULES, M. C. **Sistema de coleta automatizada de amostras de ar para análise da concentração de gases de efeito estufa do solo**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2021.

LIMA, V. A. de M. **Clima e agricultura: o papel das precipitações na produtividade da soja no município de Capinópolis/MG**. 2022. 60 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2022. DOI <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2023.174>.

LIMA, V. A. M.; COSTA, R. Clima e agricultura: um estudo das chuvas e a produção de soja em Capinópolis–MG. **Revista de Geografia-PPGEO-UFJF**, v.12, n.2, p.239-259, 2022.

LOPES, A. B. **Impactos dos eventos La Niña plurianuais no clima da América do Sul**. 2023. Dissertação (Mestrado) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA, Programa Clima e Ambiente – CLIAMB. Disponível em: <https://repositorio.inpa.gov.br/handle/1/38976> Acesso em: 11 de novembro de 2023.

LUDWIG, E. J.; NUNES, U. R.; SANTOS, C. V. dos; ZINI, P. B.; KLEINPAUL, J. A.; BASTIANI, G. G. de. Estresse hídrico na qualidade fisiológica de sementes de soja tratadas com tiametoxam e polímeros. **Research, Society and Development**, v.12, n.10, p.e44121043427-e44121043427, 2023.

MACHADO, P. C. **Diversidade e potencial biotecnológico da comunidade bacteriana associada ao pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.)**. 2019. TESE (doutorado em biotecnologia). Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia da Universidade Federal de São Carlos. Disponível em: https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/12097/TESE%20DE%20DOUTORADO_VF%20.pdf?sequence=1 acesso em 12 de novembro de 2023.

MANSUR, T. W. **Plantio direto no cerrado: uma revisão bibliográfica**. 2021. Disponível em: <http://repositorio.fama-ro.com.br/handle/123456789/202> acesso em 20 de outubro de 2023.

MARENGO, J. A.; SOUZA JUNIOR, C. Mudanças Climáticas: impactos e cenários para a Amazônia. **São Paulo: ALANA**, 2018.

MARTINS, S. M.; ROCHA, Á. G.; NETO, A. B.; BATISTA, S.; ASSUNÇÃO, G. P. de; RODRIGUES, E. F. Correlações na produção de soja e a geração de empregos: estudo de caso do sudeste de Goiás. **Revista GeTeC**, v.12, n.39, 2023.

MEDEIROS, L. V. A.; COSTA, R. Clima e Agricultura: um estudo das chuvas e a produção de soja em capinópolis–mg. **Revista de Geografia-PPGEO-UFJF**, v.12, n.2, p.239-259, 2022.

MELO, V. da S. **Estudo da precipitação no Estado da Paraíba usando análises de séries temporais**. 2021. 122f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental - PPGCTA) - Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2022. Disponível em: <http://tede.bc.uepb.edu.br/jspui/handle/tede/4186> acesso em 23 de outubro de 2023.

MENEGHETTE, H. H. A.; LAZARINI, E.; BOSSOLANI, J. W.; SANTOS, F. L.; SANCHES, I. R.; BIAZI, N. Q. Adubação potássica em plantas de coberturas no sistema de plantio direto e efeitos na cultura da soja em sucessão. **In: Colloquium Agrariae**. ISSN: 1809-8215. p.01-12, 2019.

MENDES, J. M. F. da S. **Técnicas avançadas de monitorização em aplicações de agricultura de precisão**. 2022.

MEOTTI, B. **Inclusão das características da via e da categoria veicular na desagregação espacial das emissões veiculares**. 2023. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Florianópolis, 2023. Florianópolis SC. Disponível em <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/251052> Acesso em 11 de novembro de 2023.

MESQUITA, O. S.; BRAZ, V. D. S.; MORIMURA, M. M.; BURSZTYN, M. Percepções de universitários sobre as mudanças climáticas e seus impactos: estudo de caso no Distrito Federal. **Ciência & Educação (Bauru)**, v.25, p.181-198, 2019.

MINOSSO, R. R.; SOSTISSO, G. L.; DRANSKI, J. A. L. Componentes de rendimento e produtividade da soja cultivada com hidrogel. **Revista Científica Rural**, v.23, n.1, p.69-82, 2021.

MISSIO, R. L.; SEVERO, I. K.; CANDIOTTO, L.; CANDIOTTO, F.; NIELSEN FILHO, P. R.; SOARES, L. F.; SOARES, A. B. Sobressemeadura de pastos anuais de verão na cultura da soja para suprir a escassez de foragem outonal. **Ciencia rural**, v.54, n.1, p.5, 2024.

MONTEIRO, R. T. T. **Análise do Ciclo de Vida do Biodiesel: Aplicação à Realidade Nacional**. 2009. Tese de Doutorado. Universidade de Aveiro (Portugal).

MOREIRA, G. H. S. **Acompanhamento e monitoramento de área no cultivo de soja em Ipameri-GO**. 2023. TCC (trabalho de conclusão de curso de agronomia). Universidade Estadual de Goiás UEG - Ipameri. Disponível em <https://repositorio.ueg.br/jspui/handle/riueg/1377> acesso em 20 de outubro de 2023.

MORISSETTE, J. T.; JARNEVICH, C. S.; HOLCOMBE, T. R.; TALBERT, C. B.; IGNIZIO, D.; TALBERT, M. K.; SILVA, C.; KOOP, D.; SWANSON, A.; YOUNG, N. E. VisTrails SAHM: visualization and workflow management for species habitat modeling. **Ecography**, v.36, p.129-135, 2013.

NARDIN, A. C. F. de. **Relações entre biomimética, pensamento sistêmico e conhecimento ecológico tradicional: um guia para tomada de decisões arquitetônicas regenerativas**. 2023. Dissertação (Mestrado Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Urbanismo e Paisagismo). Disponível em <http://repositorio.ufsm.br/handle/1/28305> acesso em 23 de outubro de 2023.

NASCIMENTO, C. L. do. **Desempenho agrônômico da cultivar de gergelim BRS Pérola Negra inoculada com bacilos e submetida à restrição hídrica.** 2023.

NEUMAIER, N.; FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; HENNING, L. M.; FOLONI, J.; MORAES, L. A. C.; GONÇALVES, S. Ecofisiologia da soja. **SEIXAS, CD S.; NEUMAIER, N.; JUNIO, AAB**, p.33-54, 2020.

NICOLAU NETO, P. L. A. **Produtividade de soja in sílico no bioma Cerrado em função do fenômeno El Niño Oscilação Sul.** 2023. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2023. Disponível em <http://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/12719> acesso em 20 de outubro de 2023.

NUNES, R. **Cerrado Goiano: um diagnóstico da relação saúde-ambiente em municípios pertencentes a microteia de Ceres, Estado de Goiás.** 2018.

NUNES, M. R.; VAN, H. M. V.; SCHINDELBECK, R.; RISTOW, A. J.; RYAN, M. No-till and cropping system diversification improve soil health and crop yield. **Geoderma**, v.328, p.30-43, 2018.

OLIVEIRA, L. F.; BONALDO, S. M.; PEREIRA, C. S.; FIORINI, I. V. A.; BELUFI, L. M. de R.; PITTELKOW, F. K. Programas de fungicidas no controle de antracnose na cultura da soja. **Tecno-Lógica**, v.25, n.2, 2021.

OLIVEIRA, M. de; GALLARDO, A. L. C. F.; RIBEIRO, A. P.; GARCIA, J. I. B. Soluções Baseadas na Natureza em projetos integrados de drenagem e de mitigação de mudanças climáticas na cidade de São Paulo (Brasil). **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v.19, n.1, p.70-84, 2023

OLIVEIRA, O. B. de. **Modelagem de distribuição potencial da soja no Brasil frente às mudanças climáticas.** 2019.

PEIXOTO, V. A. R. **Análise de elasticidade e transmissão de preços da soja Chicago Mercantile Exchange para Goiás e Brasil-2018 a 2022.** 2022.

PELEGRINI, D. F.; LADEIRA, T. F.; OLIVEIRA, P.; SIMOES, J. C.; GADELHA, E. G. Gênese e obsolescência do Sistema Estadual de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v.38, n.3, p.26652, 2022.

PEREIRA, C. S.; KERBER, J. C.; FIORINI, I. V. A. Controle de plantas daninhas na cultura da soja com aplicação de glifosato por contato com rolo de polyester. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.18, n.4, p.667, 2020.

PEREIRA, F. S.; FLEURY, L. C. **Sociologia da utopia crítica no nexo das mudanças climáticas.** Tramas y redes. Buenos Aires. N. 3 (dic. 2022), p.91-111, 2022.

PEREIRA, L. **Efeito individual das variáveis microclimáticas e da competição no crescimento em diâmetro de espécies arbóreas na Amazônia Central.** 2023.

PINHEIRO, L. V. de S. **Rompendo cercas, construindo saberes: Trabalho agroecológico, vivência e (re) significações nas relações com o lugar.** 2019.

- PINTO JR, O. B.; LIMA, A. E. M. M. Quantificação de gases de efeito estufa em aterro sanitário no município de Cuiabá. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, p. 136-144, 2020.
- POSSEBON, L. C.; MENDONÇA, L. F. F. M.; FREITAS, R. A. P.; NERVINO, M.; MELO, D. H. C. T. B.; MACHADO, A. A.; LINDEMANN, D. DA S.; REIS, R. A. N.; LENTINI, C. A. D. Estudo sobre o impacto do clima de ondas nos processos erosivos da costa do município de Vera Cruz (BA), Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.16, n.1, p.325-342, 2023.
- PROCHNOW, F. D. Biochar: uma revisão bibliográfica dos avanços científicos e industriais, das possibilidades no contexto brasileiro e do seu potencial para o desenvolvimento sustentável. 2023.
- QUEIROZ, D. B. D.; CAVALCANTE, A. D. M. B.; LIMA, P. V. P. S.; SILVA, E. M. D. Tecnologias Sociais na Redução da Vulnerabilidade às Mudanças Climáticas nos Municípios do Ceará, Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.37, p.261-268, 2022.
- RAMOS JUNIOR, E. U.; BROGIN, R.; OLIVEIRA, M. F.; ARIAS, C. de. **Atividades do programa de melhoramento genético da soja desenvolvidas em Mato Grosso**. Embrapa Agrossilvipastoril, 33p., 2019.
- REFFATTI, D. B. **Carboxamidas associadas a multissítios para controle de mancha-alvo em soja**. 2023.
- RODRIGUES, D. S.; SCHUCH, L. O. B.; MENEGHELLO, G. E.; PESKE, S. T. Desempenho de plantas de soja em função do vigor das sementes e do estresse hídrico, **Revista Científica Rural**, v.20, n.2, p.144-158, 2018. DOI: <https://doi.org/10.30945/rcr-v20i2.260>.
- RODRIGUES, M. H. D.; FIORAVANTE, F. C. R. C.; FERRAZ, J. B. S.; FUKUMASU, H.; SANTOS, H. D.; NEPOMUCENO, L. L.; FERREIRA, J. Frequências alélicas e genotípicas do gene da beta-caseína do leite em bovinos da raça Curraleiro Pé Duro criados no estado do Tocantins. **Peer Review**, v.5, n.22, p.482-499, 2023.
- RODRIGUES, M. da C. A.; NOGUEIRA, C.; PINTO, H. Inovações sociais para a utilização sustentável da água. Experiências de pequena escala em Lajedo de Timbaúba (Brasil) e Tamera (Portugal). **Cidades. Comunidades e Territórios**, Sp23, 2023.
- ROLDÃO, A. de F. **Veranicos no estado do Tocantins e a cultura da soja**. 2020. 172 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2020. DOI <http://doi.org/10.14393/ufu.te.2020.403>.
- ROSA, L. V. **Acompanhamento de produção de campos de sementes de soja em Planaltina-DF**. 2023. TCC (trabalho de conclusão de curso de agronomia). Universidade Estadual de Goiás UEG – Ipameri. Disponível em <https://repositorio.ueg.br/jspui/handle/riueg/1382> acesso em 20 de outubro de 2023.
- ROSA, T. E. A.; SOUZA, J. C. de; PEREIRA, W. J.; MOREIRA, de A. A. J.; ARAUJO, F. G. de. Nematicidas biológicos associados a cama de frango no controle de nematoides na soja e milho. **Revista Caatinga**, v.34, n.3, p.580-589, 2021.

ROSENZWEIG, C.; SOLECKI, W. Furacão Sandy e caminhos de adaptação em Nova York: lições de uma cidade socorrista. **Mudança Ambiental Global**, v.395-408, 2014.

ROSENZWEIG, C.; ELLIOTT, J.; DERYNG, D.; RUANE, A. C.; MULLER, C.; ARNETH, A.; BOOTE, K. J.; FOLBERTH, C.; GLOTTER, M.; KHABAROV, N.; NEUMANN, K.; PIONTEK, F.; PUGH, T. A.; SCHMID, E.; STEHFEST, E.; YANG, H.; JONES, J. W. **Assessing agricultural risks of climate change in the 21st century in a global gridded crop model intercomparison**. Proceedings of the national academy of sciences, v.111, n.9, p.3268-3273, 2014.

ROSSETTO, O. C.; SILVA, L. L. da. Interfaces da estrangeirização de terras e do agronegócio em Mato Grosso-Brasil/Interfaces of the foreignization of land and agribusiness in Mato Grosso-Brazil/Interfaces de la extranjerización de la tierra y el agronegocio en Mato Grosso-Brasil. **REVISTA NERA**, v.27, n.1, 2024.

SALVIANO, P. A. P. **Evidências de práticas sustentáveis na produção de soja: ações coletivas de atores locais no Município de Rio Verde-GO**. 2021.

SANTOS, T. O. dos; ANDRADE FILHO, V. S. de; FRANÇA, R. dos S. Variabilidade e tendência climática nos municípios de Manaus (AM) e São Gabriel da Cachoeira (AM): uma avaliação a partir dos dados de precipitação e temperatura. **Revista Geonorte**, v.14, n.43, 2023.

SANTOS, Y. C. dos; PESSOA, Z. S.; CARVALHO, E. F.; DIAS, E. M. S.; TEIXEIRA, R. L. P. Enfrentamento aos riscos das mudanças climáticas no semiárido brasileiro: a adaptação climática como uma nova agenda governamental. **Revista de Gestão dos Países de Língua Portuguesa**, v.22, n.1, p.46-66, 2023.

SCARAMUZZI, I. A. B.; LEWKOWICZ, R. B.; MAZUREK, R. R. S.; BENVEGNÚ, V. C. Percepções locais sobre transformações ambientais na região do Oiapoque: reflexões a partir da experiência de formação de pesquisadores indígenas. **Horizontes Antropológicos**, v.29, p.e660413, 2023.

SCHVAMBACH, Amabilly. **Efeito da implantação do plano de mobilidade urbana do município de Brusque/SC na emissão de gases de efeito estufa**. 2023. Dissertação (Mestrado Profissional em Clima e Ambiente). Instituto Federal de Santa Catarina - Florianópolis. Disponível em <https://repositorio.ifsc.edu.br/handle/123456789/2718> acesso em 21 de outubro de 2023.

SENA, M. M. **Diálogos entre agroecologia e economia solidária: integrações nos territórios ibero-americanos frente às crises globais**. 2022. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria.

SILVA, V. T. da; GAVA, R.; COTRIM, M. F. da; WASSOLOWSKI, C. R.; TEODORO, P. E.; SNYDER, R. L. Manejo de irrigação na cultura da soja em sistema de semeadura direta, sobre restos culturais de *Brachiaria ruziziensis*. **Research, Society and Development**, v.9, n.6, p.e64963430-e64963430, 2020.

SILVA, G. S. Considerações sobre o crescimento da exportação de soja containerizada no Porto de Santos. **Gestão da Produção em Foco**, v.50, p.64, 2021.

SILVA, L. S.; SOUZA, L. D. Contribuição da adubação verde para os atributos físicos do solo. **Adubação verde**, p.357, 2023.

SILVA, F.; BORÉM, A.; SEDIYAMA, T.; CÂMARA, G. **Soja: do plantio à colheita**. Oficina de Textos, 2022.

SILVA FILHO, J. F. S. **Caracterização biométrica e bioquímica de cultivares de soja submetidas ao déficit hídrico severo**. 2022. 45 f. Monografia (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022. Disponível em <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/69177> acesso em 20 de outubro de 2023.

SILVA, L. P.; BATTISTI, R.; KNAPP, F. M.; SANTOS, T. G.; ALVES, JUNIOR, J. Estimativa da produtividade de soja usando irrigação na época das chuvas no bioma Cerrado. **Agrometeoros**, v.28, p.e026702, 2020.

SILVA, M. R. **Seleção de genótipos de soja resistentes à mela (*Rhizoctonia solani* ag1-if e ag1-ia), promoção de crescimento e biocontrole da doença por isolados bacterianos**. 2023.

SILVA, R. R. **Geografia e serviços ecossistêmicos em diálogo: o ambiente de Arroio do Sal entre o local e o global**. 2023. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências

SILVA, W. A.; SANTANA, J. S.; SILVA, C. M. Da; NUNES, A. A. Regionalização de coeficiente de cultivo aplicado no planejamento da agricultura irrigada no Estado do Maranhão–Brasil. **Engenharia Agrícola**, v.37, n.5, 2017.

SILVA, C. D. da. **Cultura da soja (*Glycine max*): uma abordagem sobre a viabilidade do cultivo no município de Ribeira do Pombal (BA)**. 2021. TCC (Trabalho de conclusão de curso). Centro Universitário AGES Piracicaba, São Paulo. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/18655/1/MONOGRAFIA%20-%20CULTURA%20DA%20SOJA.pdf> acesso em: 12 de novembro de 2023

SILVA, D. F. da.; LIMA, M. J. D. S.; SOUZA NETO, P. F.; GOMES, H. B.; SILVA, F. D. D. S.; Almeida, H. R. R. C.; COSTA, R. L. Caracterização de eventos extremos e de suas causas climáticas com base no índice Padronizado de Precipitação Para o Leste do Nordeste. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.13, n.2, p.449-464, 2020

SILVA, C. D. da. **Cultura da soja (*Glycine max*): uma abordagem sobre a viabilidade do cultivo no município de Ribeira do Pombal (BA)**. 2021. TCC (Trabalho de conclusão de curso). Centro Universitário AGES Piracicaba, São Paulo. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/18655/1/MONOGRAFIA%20-%20CULTURA%20DA%20SOJA.pdf> acesso em: 12 de novembro de 2023

SILVA, D. F. da.; LIMA, M. J. D. S.; SOUZA NETO, P. F.; GOMES, H. B.; SILVA, F. D. D. S.; Almeida, H. R. R. C.; COSTA, R. L. Caracterização de eventos extremos e de suas causas climáticas com base no índice Padronizado de Precipitação Para o Leste do Nordeste. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.13, n.2, p.449-464, 2020

SOUZA, M. C. R. de.; FREITAS, B. R.; FIGUEIREDO, A. P. de S.; VENIAL, H. J.; CORRADINI, P. G.; SOUZA, M. de O. A Influência dos compostos orgânicos voláteis nas mudanças climáticas: uma breve revisão. **Revista Virtual de química**, v.15, n.2, p.227-240, 2023.

SOUZA, A. C. F. de.; SIGNORELLI, L. H. R.; MICHELS, M.; CHIEPE, K. C. M. B. A influência dos fatores extra e intradomiciliares na dermatite atópica em crianças: uma revisão integrativa. **Brazilian Journal of Surgery & Clinical Research**, v.41, n.5, 2022.

SOUZA, W. M. de.; BARBOSA, V. V.; ALMEIDA, F. F. A. de; SOARES, M. P. A.; EILERT, J. B.; POLETINE, J. P.; BRONDANI, S. T.; ANTÔNIO, M.; BARELLI, A.; SILVA, V. P. da. Melhoramento e seleção de feijoeiro comum por meio de modelos mistos para resistência/tolerância à seca. **Journal of Agronomic Sciences, Umuarama**, v.9, n. especial, p.246-268, 2020.

SOUZA, L. I. F. **Crescimento e desempenho fisiológico de genótipos de soja com potencial para o cultivo sob condições de estresse hídrico e salino**. – São Luís, 75f., 2019.

TAVARES, C. J. **Respostas fisiológicas, rendimento e qualidade de grãos de genótipos de soja e trigo submetidos a estresse hídrico no Cerrado**. 2022. Tese (doutorado) — Universidade de Brasília, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2022.

TAVARES, V. C.; ARRUDA, I. R. P. de; SILVA, D. G. Desertificação, mudanças climáticas e secas no semiárido brasileiro: uma revisão bibliográfica. **Geosul**, v.34, n.70, p.385-405, 2019.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**: publications in climatology. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 1955, 104p.

TOMAZELA, J. M. **Estiagem atrasa plantio de soja e pode frustrar safra recorde de grãos no País**. O Estado de S. Paulo, São Paulo, 2020.

TREMEA, C. B. Proposta de adoção da agricultura de precisão em uma propriedade rural: modelo de melhoria de processos por meio da agricultura 4.0. 2023.

VALE, N. K. A. do; ABDALA, K. de O.; FERREIRA, M. D. P.; FIGUEIREDO, R. S. Análise da contribuição tecnológica à mitigação dos efeitos da variabilidade climática na produtividade da terra sob cultivo de soja em Goiás/An analysis of the technological contribution to the mitigation of the effects of climate variability on land productivity of the soybean of cultivation in Goiás. **Brazilian Journal of Development**, v.6, n.3, p.16034-16054, 2020.

VIDAL, G. M.; ROSA, S. S. da. Produção e a comercialização do complexo soja no Brasil: uma análise das exportações entre 2010 e 2021. **Revista Estudo & Debate**, v.30, n.1, 2023.

VIEIRA, L.; PASCOLI, I.; BORTOLI, S. A.; LOPES, L. M. X. Efeito de extratos de *Aristolochia lagesiana* (Aristolochiaceae) sobre a lagarta-da-soja, *Anticarsia gemmatilis* (Lepidoptera: Noctuidae). **Arquivos do Instituto Biológico**, v.76, p.245-250, 2021.

VOLTOLINI, T. V.; GOIS, G. C. Estratégias de mitigação dos efeitos das alterações do clima no Semiárido brasileiro e adaptação dos sistemas produtivos pecuários. **Agricultura de baixa emissão de carbono em regiões semiáridas**, p.151, 2022.

World Agricultural Supply and Demand Estimates. Virginia: **United States Department Of Agriculture**, 2019. Disponível em: <https://www.fas.usda.gov/data/grain-worldmarkets-and-trade>. Acesso em: 05 de agosto de 2022.

YOKOMIZO, G. K. I.; ARIAS, C. A. A.; SILVA NETO, S. P. da; SANTOS, I. C. dos. Desempenho de cultivares de soja no Cerrado do Amapá quanto a estabilidade e adaptabilidade. **Cientific@-Multidisciplinary Journal**, v.9, n.1, p.1-11, 2022.

ZILLI, M.; SCAEABELLO, M.; SOTERRONI, A. C.; VALIN, H.; MOSNIER, A.; LECLERE, D.; HAVLIK, P.; KRAXNER, F.; LOPES, M. A.; RAMOS, F. M. The impact of climate change on Brazil's agriculture. **Science of the Total Environment**, v.740, p.139384, 2020.

CAPÍTULO 1

COMPORTAMENTO E TENDÊNCIA DOS DADOS CLIMÁTICOS E PRODUTIVOS DA SOJA

RESUMO

A elevação da temperatura do planeta poderá gerar danos irreversíveis e colocar em risco a segurança alimentar global. Assim, o objetivo com este estudo foi avaliar o comportamento e a tendência climática dos últimos anos e produtividade da cultura da soja para o município de Rio Verde, Goiás, Brasil. Os dados meteorológicos foram coletados no Instituto Nacional de Meteorologia, abrangendo o período de 1972 até 2021. Mesmo com fraca correlação, a temperatura mínima e a radiação solar foram os elementos meteorológicos que mais se aproximaram na produção de soja. As condições climáticas são favoráveis para o desenvolvimento de soja, porém, se mantidos os mesmos padrões de emissões de gases do efeito estufa, as mudanças climáticas afetarão a produção vegetal, através do aumento da temperatura máxima (0,30°C) e mínima (0,22°C) do ar, com redução da umidade relativa (1,6%), maior demanda hídrica pelas culturas, redução da precipitação (18,6 mm), por década, além da distribuição irregular das chuvas e a tendência de aumento de veranicos e alagamentos, impactando diretamente na produtividade da cultura da soja. Para o município de Rio Verde se manter competitivo na produção de grãos, será necessário haver mudanças fenológicas nas plantas, com prioridade de espécies com maior tolerância à seca e modificação de calendário agrícola. A mitigação e a adaptação às causas das mudanças climáticas em Rio Verde pode se dar por meio de técnicas já existentes e utilizadas, porém, com mais intensidade.

Palavras-chave: Agricultura. Meteorologia agrícola. Produção de grãos.

CHAPTER 1

BEHAVIOR AND TREND OF CLIMATE AND PRODUCTION DATA FOR SOYBEAN

ABSTRACT

The rise in the planet's temperature could cause irreversible damage by putting food and nutritional security at risk and the collapse of human survival. Therefore, the objective of this work was to present the climate trend and behavior and productivity of soybean crops and the impacts of climate change on agriculture and possible strategies to maintain high production levels in the municipality of Rio Verde, Goiás, Brazil. The meteorological elements were provided by the National Institute of Meteorology in the period from 1972 to 2021. Even with a weak correlation, the minimum temperature and solar radiation were the meteorological elements that came closest to each other in soybean production. Climatic conditions are favorable for soybean development, however, if the same standards of greenhouse gas emissions are maintained, climate change will affect plant production, through an increase in maximum (0.30°C) and minimum (0.30°C) temperatures (0.22°C) of the air, reduction in relative humidity (1.6%), greater water demand for crops, reduction in precipitation (18.6 mm), per decade, in addition to the irregular distribution of rainfall and the tendency to increase of extreme events, directly impacting soybean crop productivity. For the municipality to remain competitive in grain production, it will be necessary to make plant phenological changes, with priority given to species with greater tolerance to drought and changes to the agricultural calendar. Mitigation and adaptation to the causes of climate change in Rio Verde will be through existing techniques used, however, with more intensity.

Keywords: Agriculture. Agricultural meteorology. Grain production.

1 INTRODUÇÃO

A cultura da soja (*Glycine max*) desempenha um importante papel na agricultura contemporânea, sendo uma das principais culturas agrícolas do mundo (DIAS, 2023). Originária da Ásia, a soja conquistou a sua posição global graças a sua versatilidade e ao seu alto valor nutricional, tanto para consumo humano, quanto para ração animal (SILVA; ALMEIDA, 2019; SANTOS et al., 2020; ZAGO, 2023). Além disso, a soja é uma cultura que se destaca por sua capacidade de fixação de nitrogênio, o que contribui para a melhoria da fertilidade do solo e o cultivo sustentável (SILVA et al., 2021).

No Brasil, a soja é uma cultura de grande impacto econômico e social, amplamente cultivada em diversas regiões do país, com destaque para os estados do Centro-Oeste, como Goiás (DINIZ et al., 2023; MAGANO et al., 2023). A expansão da soja no Brasil nas últimas décadas tem sido notável, tornando o país um dos maiores produtores e exportadores mundiais, e essa expansão é resultado não apenas da demanda global crescente por soja, mas também, da adaptabilidade da cultura a diferentes condições climáticas, o que permite o seu cultivo em várias regiões (GOMES, 2023).

A temperatura do ar é um fator que modula o crescimento e desenvolvimento das plantas de soja ao longo de seu ciclo (TEJO et al., 2019). As temperaturas máxima e mínima afetam a duração das diferentes fases de crescimento da cultura, desde o plantio até a colheita, temperaturas extremas, sejam elas frias, que podem causar geadas, ou excessivamente altas, podem ter impactos adversos na produtividade da soja. Assim, o monitoramento constante das temperaturas é essencial para a tomada de decisões na gestão da cultura (ROSSATTO et al., 2022; DUARTE, 2023; VIDAL, 2023).

A umidade do ar tem importante função na regulação da transpiração das plantas de soja, e os níveis adequados de umidade do ar são necessários para o processo de transpiração, essencial para a absorção de nutrientes e o crescimento saudável das plantas (TRINDADE, 2023). O monitoramento da umidade do ar auxilia na avaliação do conforto térmico das plantas, bem como, para identificar potenciais problemas de estresse hídrico (LIMA et al., 2023). Em condições de umidade insuficiente, as plantas podem sofrer perda excessiva de água, afetando negativamente o rendimento da cultura.

A quantidade e a distribuição da precipitação têm um impacto direto na cultura da soja (ASSMANN, 2023), pois as plantas requerem um suprimento consistente de água ao longo de seu ciclo de crescimento (CRESTANI MOTA, 2019). Chuvas em excesso ou a falta de

precipitação podem ter efeitos adversos, causando problemas como encharcamento do solo ou déficit hídrico (OLIVEIRA et al., 2022). O monitoramento da precipitação é útil para que os agricultores possam programar adequadamente a irrigação, se necessário, e para poderem tomar medidas preventivas em resposta às condições climáticas anômalas que possam afetar a produtividade (TAMATAYA, 2022).

A radiação solar associa-se diretamente com a fotossíntese, processo pelo qual as plantas convertem a luz solar em energia para o seu crescimento e desenvolvimento (SCHAPARINI, 2021). A quantidade e a qualidade da radiação solar influenciam na produção de biomassa e, portanto, a produtividade da soja. De acordo com Silva et al. (2022), o monitoramento da radiação solar ajuda a entender as condições de crescimento das plantas e a eficiência no processo de fotossíntese.

No entanto, a relação entre o clima e a produção de soja é intrínseca, uma vez que o ciclo de crescimento das plantas é fortemente influenciado por variáveis climáticas, como: temperatura, precipitação e padrões de chuva (GUNDIM, 2022). Mudanças nos padrões climáticos, incluindo eventos extremos, como secas e inundações, podem ter um impacto na produtividade da soja, afetando o rendimento das colheitas e a qualidade dos grãos (DIAS, 2023).

Os efeitos das alterações climáticas podem resultar em déficit hídrico na cultura da soja, levando à implicações na produção agrícola, exigindo abordagens específicas para mitigar os impactos negativos e desenvolver estratégias adaptativas que garantam uma produção mais resiliente em face das variações climáticas (SILVA et al., 2020).

A soja entra na fase reprodutiva, tornam-se evidentes os efeitos do déficit hídrico, nessa etapa, a queda prematura de flores, o aborto de vagens e o fenômeno conhecido como "chochamento" de grãos, interfere na formação do número de vagens e no desenvolvimento de vagens vazias (GAVA et al., 2015). A seca não apenas reduz a taxa de acúmulo de matéria seca nos grãos, mas também antecipa o processo de maturação fisiológica e diminui o tamanho dos grãos, comprometendo a qualidade e a quantidade da colheita de soja (EMBRAPA, 2020)

No contexto atual, em que as mudanças climáticas estão cada vez mais presentes, compreender as tendências dos dados climáticos e produtivos relacionados à soja é vital para garantir a segurança alimentar e econômica em escala local, regional e global (EVANGELISTA et al., 2022)

Goiás, um dos estados brasileiros com maior destaque na produção de soja, tem sofrido com as transformações em seu clima, o que pode impactar diretamente na produtividade das lavouras (GIRELI et al., 2022). Ao mesmo tempo, observa-se um cenário global em constante

evolução, com mudanças climáticas globais que têm consequências diretas na produção da cultivar, em várias partes do mundo.

Na safra de soja 2021/2022, a produção média total alcançou 124.047,8 mil toneladas, refletindo uma redução de 10,2% em relação à safra precedente, com a produtividade média alcançando 0,53 sacas por hectare (TINOCO; PRIMIERI, 2023). O declínio na produção e produtividade da soja na safra 2021/2022 é notável, marcando uma queda de 14,1%, em relação à safra anterior (CONAB, 2022). Esses números demonstram a importância de uma análise mais profunda das tendências nos dados climáticos e de produção, para compreender as variáveis subjacentes que afetaram o desempenho da cultura da soja, e de desenvolver estratégias adequadas para enfrentar os desafios e incertezas que afetam a agricultura de soja no Brasil.

A análise de tendência dos dados climáticos e produtivos da soja não apenas contribui para uma compreensão mais profunda das relações entre clima e produção, mas também é fundamental para o desenvolvimento de estratégias de manejo e adaptação que possam minimizar os riscos climáticos e otimizar a produção de soja no Brasil e no mundo (SILVA, 2021). Ao explorar essas tendências, pretende-se fornecer informações valiosas aos produtores, pesquisadores e formuladores de políticas, permitindo uma compreensão melhor das interações entre o clima e a produção de soja e, assim, contribuir para o desenvolvimento de estratégias sustentáveis e adaptativas, que possam garantir a resiliência desse importante cultivo, em face dos desafios climáticos em constante mutação.

Assim, objetivou-se com o presente estudo avaliar o comportamento e a tendência climática dos últimos anos e produtividade da cultura da soja para o município de Rio Verde, Goiás, Brasil.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no município de Rio Verde, região do Sudoeste do Estado de Goiás, Brasil, localizado entre as coordenadas 17°16'S e 51°42'W e 18°09'S e 50°22'W. Os dados meteorológicos foram obtidos da Estação Meteorológica Convencional de Rio Verde (OMM: 83470) que localiza-se na coordenada 17°48'S e 50°55'W a 774,62 m de altitude, no campus da Universidade de Rio Verde (UniRV) em parceria com o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). O clima da região é Aw Tropical, com duas estações climáticas bem

definidas, sendo uma seca e amena (abril a setembro) e outra quente e chuvosa (outubro a março) (LOPES SOBRINHO et al., 2020).

A análise do comportamento climático foi feita utilizando os dados históricos de 1972 a 2021 e as tendências climatológicas foram baseadas no histórico através da análise de tendência. Os dados coletados foram organizados por década, facilitando a análise das mudanças ao longo do tempo e a identificação de possíveis padrões de variação climática.

Para isso, os elementos meteorológicos foram fornecidos pelo INMET no período de 1972 até 2021, com exceção dos anos de: 1975, 1978, 1979 e de 1991 a 1996, que não foram contabilizados por indisponibilidade de dados. Para a caracterização climática, foram coletados dados de: temperatura mínima, média e máxima do ar, por meio do termômetro líquido de vidro com precisão de 0,1°C; umidade relativa média do ar, por meio do psicrômetro com precisão de 3%; velocidade do vento a 10 m de altura, por meio do anemômetro de caneca com precisão de 3%; brilho solar, por meio do heliógrafo com precisão de 0,1 h e precipitação, através do pluviômetro tipo Ville de Paris em aço inox, com precisão de 0,1 mm.

A velocidade do vento foi corrigida para a altura de 2 m (Equação 1). A radiação solar (Equação 2) e a evapotranspiração de referência pelo modelo de Penman-Monteith (Equação 3) foram estimadas de acordo com Allen et al. (1998).

Equação 01:

$$U_2 = vv \cdot \left(\frac{4,87}{\ln(67,8 \cdot Z - 5,42)} \right)$$

U_2 = Velocidade do vento a 2 m de altura do solo;

vv = Velocidade do vento a altura diferentes de 2 m ($m s^{-1}$) e

Z = Altura do anemômetro; $>2m$ (m).

Equação 02:

$$R_s = (a_s + b_s \cdot \frac{n}{N}) \cdot R_a$$

R_s = Radiação solar na atmosfera ($MJ m^{-2} dia$);

a_s = Coeficiente de Angstrom-Prescott; adotar 0,25;

b_s = Coeficiente de Angstrom-Prescott; adotar 0,50;

n = Brilho solar (h);

N = Insolação (h) e

R_a = Radiação no topo da atmosfera ($MJ m^{-2} dia$).

Equação 03:

$$ET_o = \frac{0,408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot \frac{900}{T + 273} \cdot U_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0,34 \cdot U_2)}$$

ET_o = Evapotranspiração potencial ou de referência (mm dia⁻¹);

Δ = Inclinação da curva de pressão de saturação de vapor (kPa °C⁻¹);

R_n = Radiação líquida (MJ m⁻² dia⁻¹);

G = Fluxo de calor do solo (MJ m⁻² dia⁻¹);

γ = Gama ou constante psicométrica (kPa °C⁻¹);

$T_{méd}$ = Temperatura média (°C);

U_2 = Velocidade do vento a 2 m de altura do solo (m s⁻¹);

e_s = Pressão de saturação de vapor média (kPa) e

e_a = Pressão de saturação no ponto de orvalho (kPa).

A evapotranspiração da cultura foi determinada considerando o coeficiente de cultivo, conforme disponibilizado por Allen et al. (1998) (Tabela 1). Considerou-se ciclo de 110 dias para a cultura da soja.

Tabela 1 - Duração da fase fenológica e coeficiente de cultivo da cultura (kc) da soja

Cultura	Fase fenológica	Dias	kc
Soja Precoce	S a V2	15	0,39
	V2 a R1	26	1,09
	R1 a R5	28	1,61
	R5 a R7	34	1,28

Obs.: S - Semeadura; V2 - Segundo nó; R1 - Início do florescimento; R5 - Início do enchimento de grãos e R7 - Maturação fisiológica. VE - Emergência; V6 - Sexta folha; V7 - Sétima folha; VT - Pendoamento; R1 - Florescimento; R2 - Grão leitoso; R3 - Grão pastoso; R5 - Formação de dentes; MF - Maturação fisiológica. Fonte: Fietz e Rangel (2004).

A disponibilidade de água no solo foi determinada a partir do cálculo do balanço hídrico climatológico decendial (BHCD), conforme proposto por Sales et al. (2021). Foi considerada a capacidade de água no solo (CAD), em condição de solo argiloso (1,5 mm cm⁻¹) e profundidade do sistema radicular de 0,35 m, para a cultura de soja.

Uma análise quantitativa dos impactos das condições climáticas na produção de grãos foi realizada. Os dados de produtividade (2004 a 2021), foram obtidos na página do Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (IBGE).

O comportamento climático foi apresentado por valores médios (1972-2021) e absolutos, através de gráficos e análise de regressão, permitindo identificar padrões climáticos futuros. Para interpretação dos dados qualitativos dos elementos meteorológicos e produtividade, realizou a análise de agrupamento, por método hierárquico através do software STATISTICA®, versão 7.0. O biplot foi realizado por componentes principais ortogonais apresentando a distribuição dos acessos e as direções dos feixes de variáveis.

Uma rede de correlação entre as variáveis a partir da correlação de *Pearson* foi construída e ilustrada graficamente, em que a proximidade entre os nós é proporcional aos valores de correlação absoluta entre as variáveis. Essa análise foi realizada no software Rbio (BHERING, 2017). A correlação foi considerada fraca (0-0,3), moderada (0,3-0,5) e forte (> 0,5).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A temperatura média mensal em Rio Verde é de $23,4 \pm 2,2^{\circ}\text{C}$. No início da safra de soja, na região de Rio Verde, a temperatura do ar teve média mensal histórica de $25,6^{\circ}\text{C}$ (outubro), mantendo-se acima dos 25°C , até o mês de fevereiro (Figura 1a), sendo esta a principal cultura do Sudoeste. Após o mês de março, período de cultivo de segunda safra, a temperatura é decrescente até o mês de junho, com média de $20,1^{\circ}\text{C}$. A umidade relativa do ar média em Rio Verde é de $66,8 \pm 10,1\%$. A umidade é decrescente de janeiro a agosto, sendo esse último mês, o mais crítico, podendo chegar a valores inferiores a 10% no período do dia, com maior intensidade de calor, e crescente de setembro a dezembro (Figura 1b), com a retomada gradativa da precipitação.

A velocidade do vento média é de $2,0 \pm 0,3 \text{ m s}^{-1}$ (Figura 1c), sendo os meses de setembro e outubro os mais intensos com a retomada da precipitação (frequência e intensidade das massas de ar). Na primavera-verão e no outono-inverno, os valores médios diário de brilho e radiação solar é de $5,0 \pm 0,7 \text{ h}$ e $17,8 \pm 0,7 \text{ MJ m}^{-2}$ e $7,3 \pm 0,5 \text{ h}$ e $16,6 \pm 1,0 \text{ MJ m}^{-2}$, respectivamente (Figura 1d). A evapotranspiração de referência obteve valor médio diário de $3,8 \pm 0,4 \text{ mm}$, sendo os meses de setembro e outubro, os períodos que as culturas demandam um maior volume de água, 4,6 e 4,5 mm dia^{-1} , respectivamente (Figura 1e). A precipitação média anual é de $1.596 \pm 95,1 \text{ mm}$ (Figura 1f), concentrando na primavera e verão (85,7%). Os meses de abril e outubro são considerados os meses de transição, entre início e o fim do período de estiagem, respectivamente.

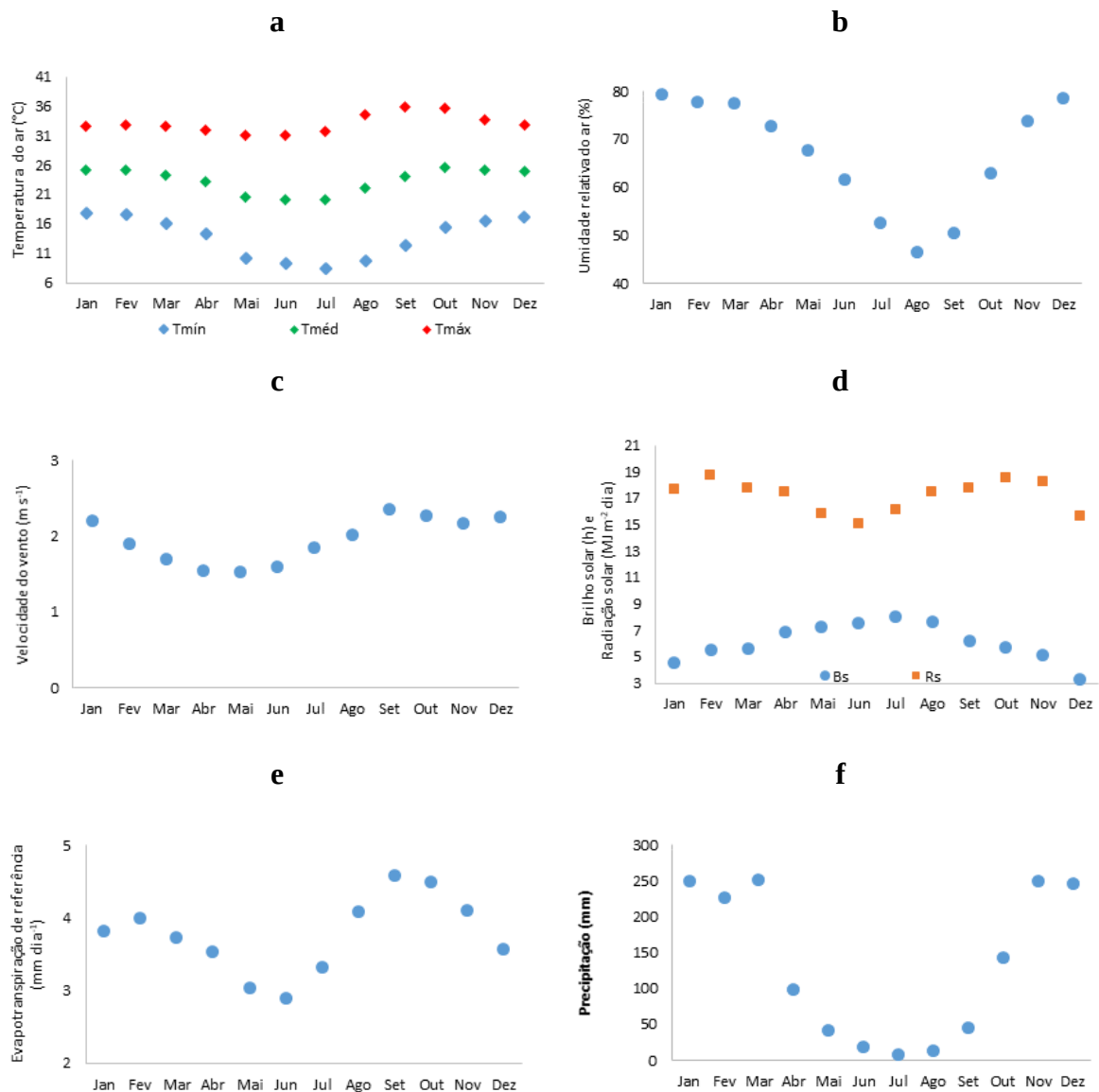


Figura 1 - Temperatura do ar máxima, média e mínima (a); umidade relativa do ar média (b); velocidade do vento média (c); brilho solar e radiação solar (d); evapotranspiração de referência (e) e precipitação (f) média de 1972 até 2021, para o município de Rio Verde, Goiás, Brasil.

Os modelos de tendência climatológica para o município de Rio Verde analisados partir dos dados anuais (Figura 2, 3, 4 e 5) e por década (Figura 6), ajustaram-se de forma linear crescente para a temperatura do ar máxima e mínima e decrescente para umidade relativa do ar e precipitação, o que representa uma tendência de aumento moderado da temperatura e redução da umidade e do volume de chuva, ao longo do tempo.

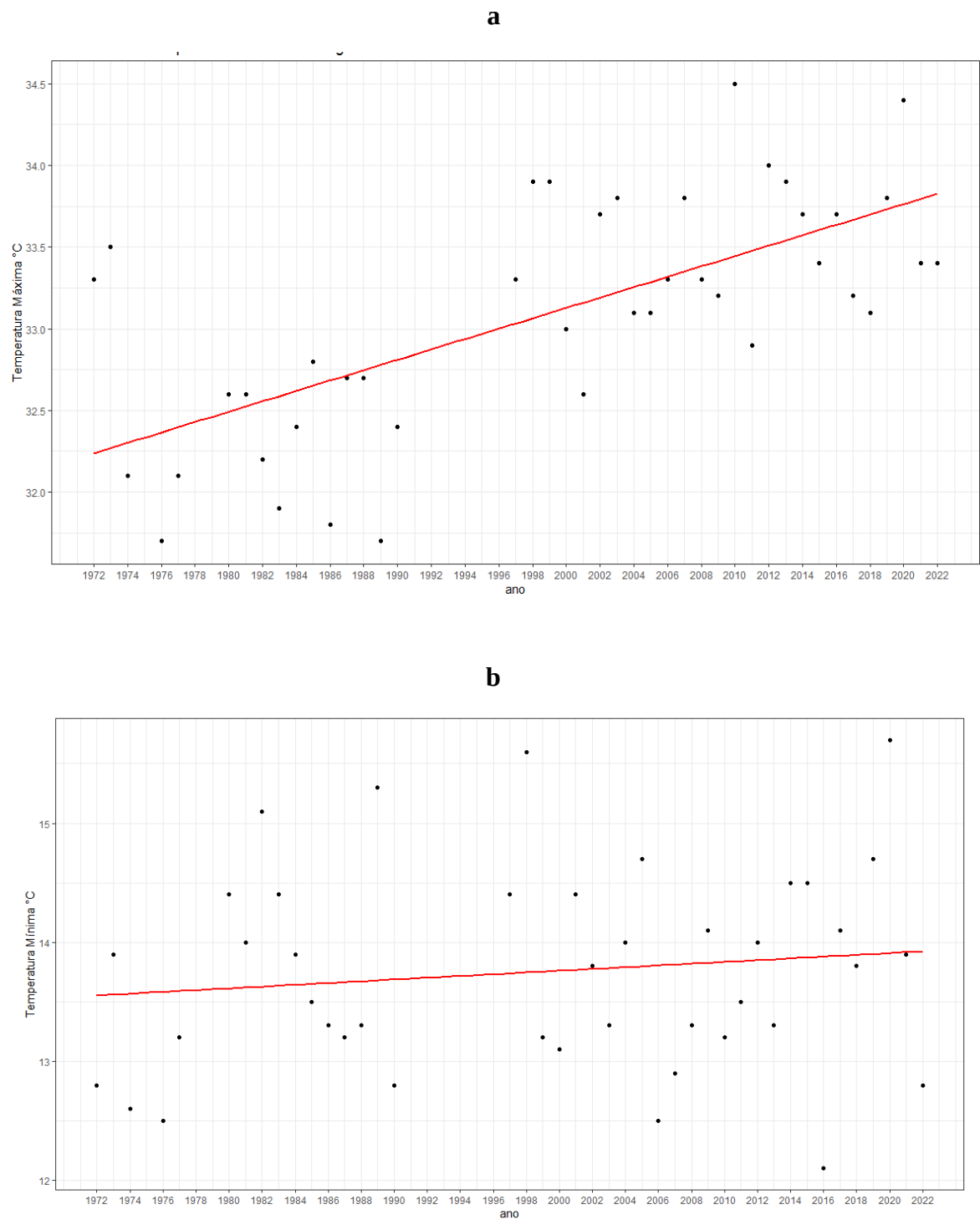


Figura 2 - Linha de tendência da temperatura máxima (a) e mínima (b) do ar no período de 1972 até 2021, para o município de Rio Verde, Goiás.

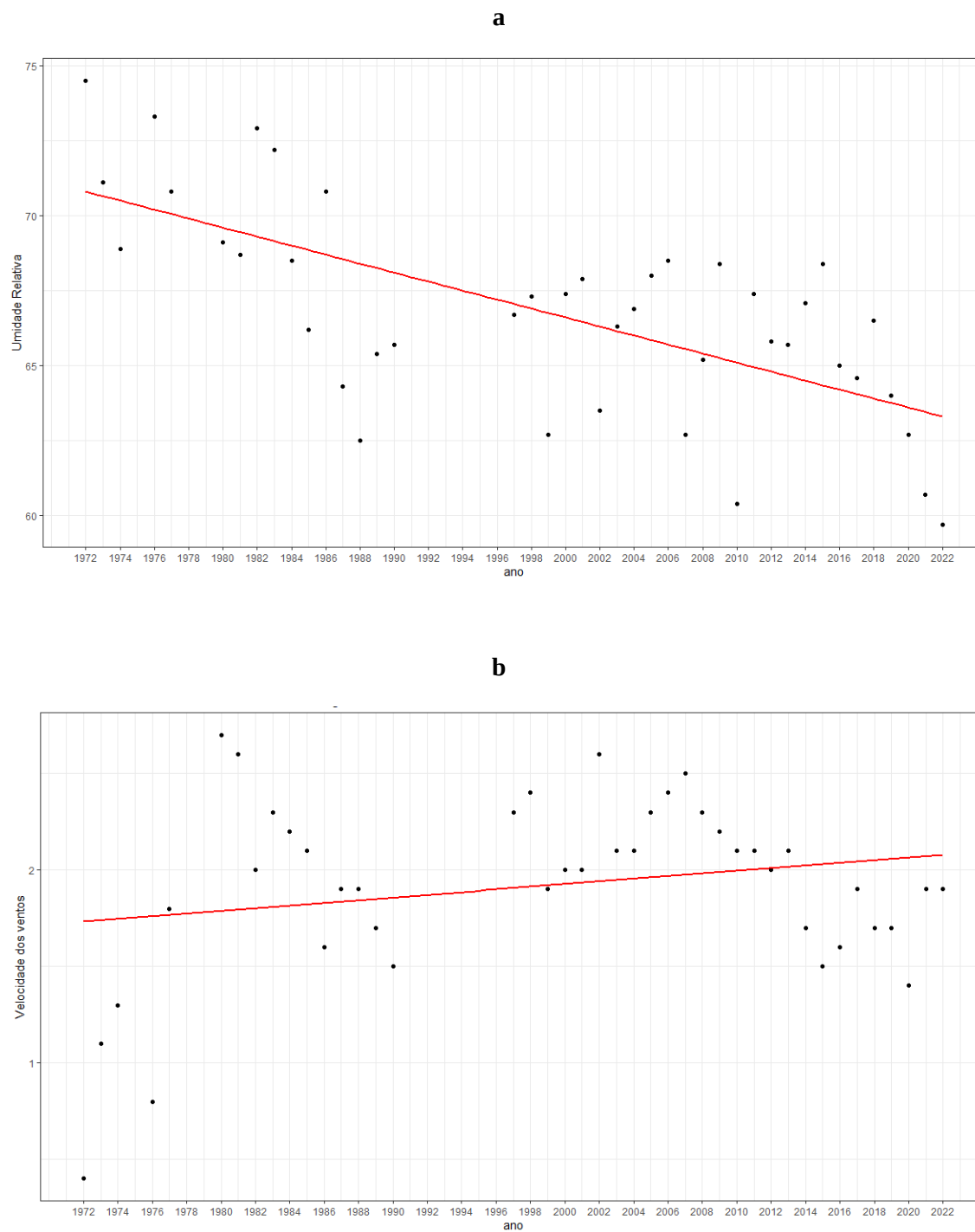


Figura 3 - Linha de tendência da umidade relativa do ar (a) e velocidade do vento (b) no período de 1972 até 2021, para o município de Rio Verde, Goiás.

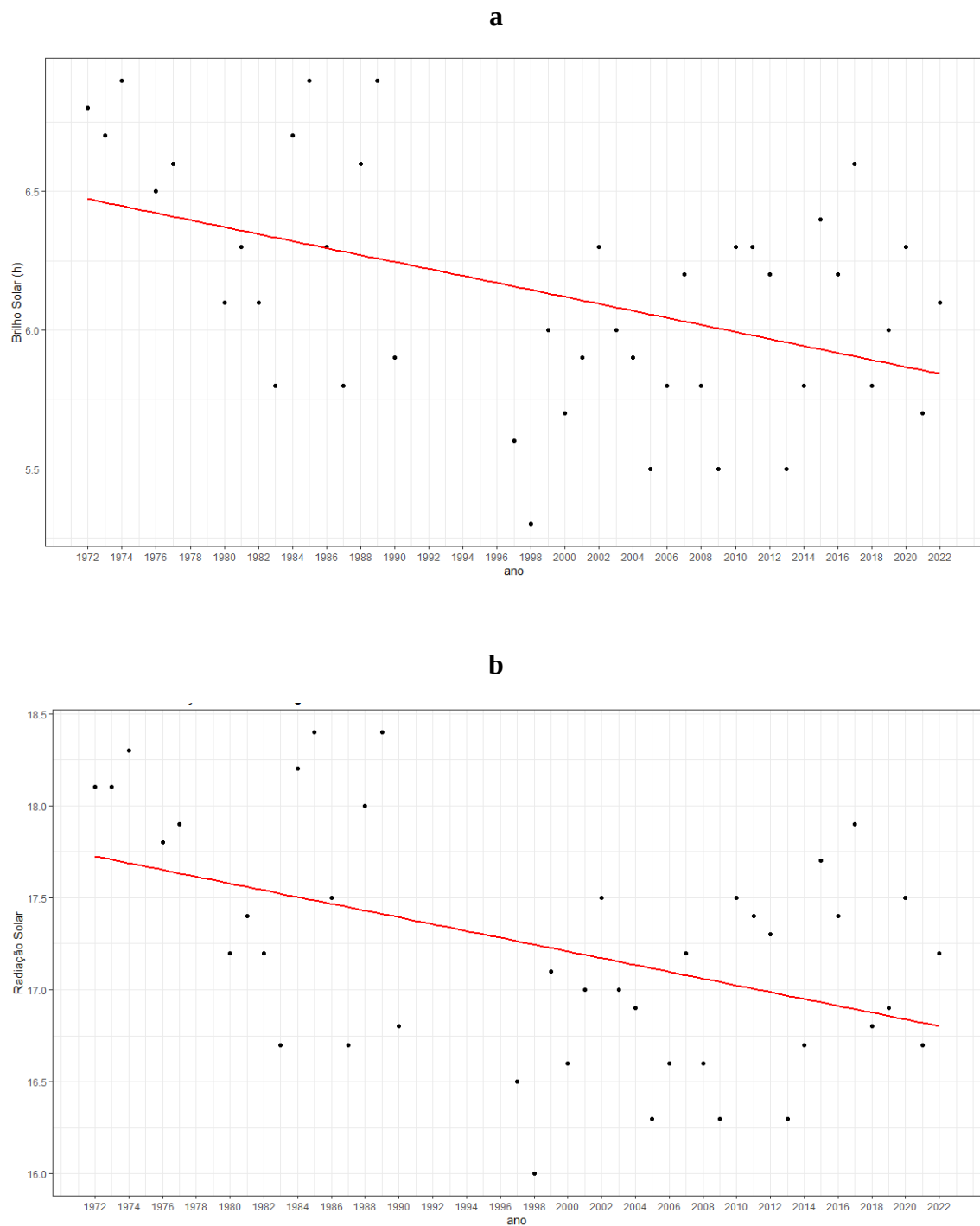


Figura 4 - Linha de tendência do brilho solar (a) e radiação solar (b) no período de 1972 até 2021, para o município de Rio Verde, Goiás.

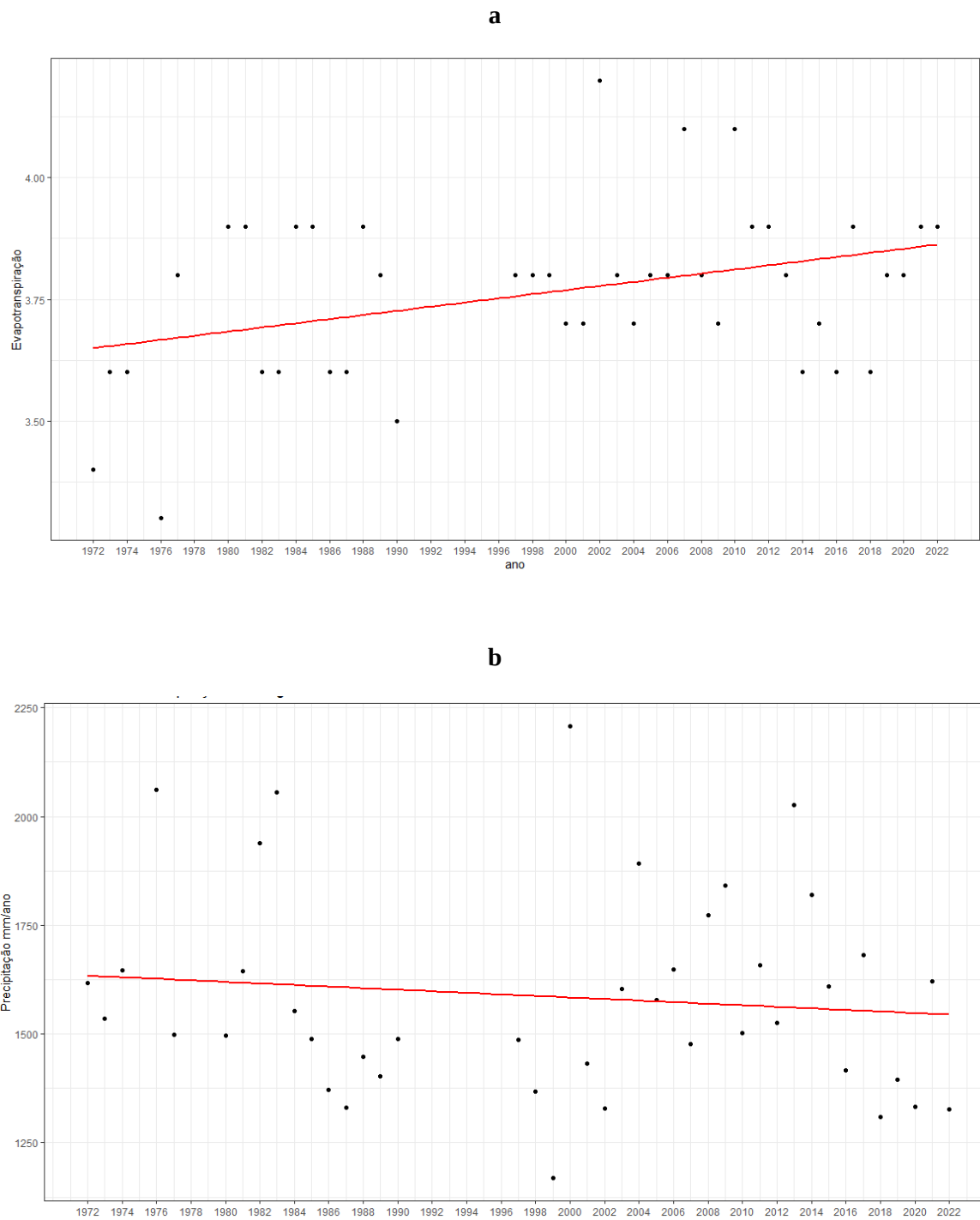


Figura 5 - Linha de tendência da evapotranspiração (a) e precipitação (b) no período de 1972 até 2021, para o município de Rio Verde, Goiás.

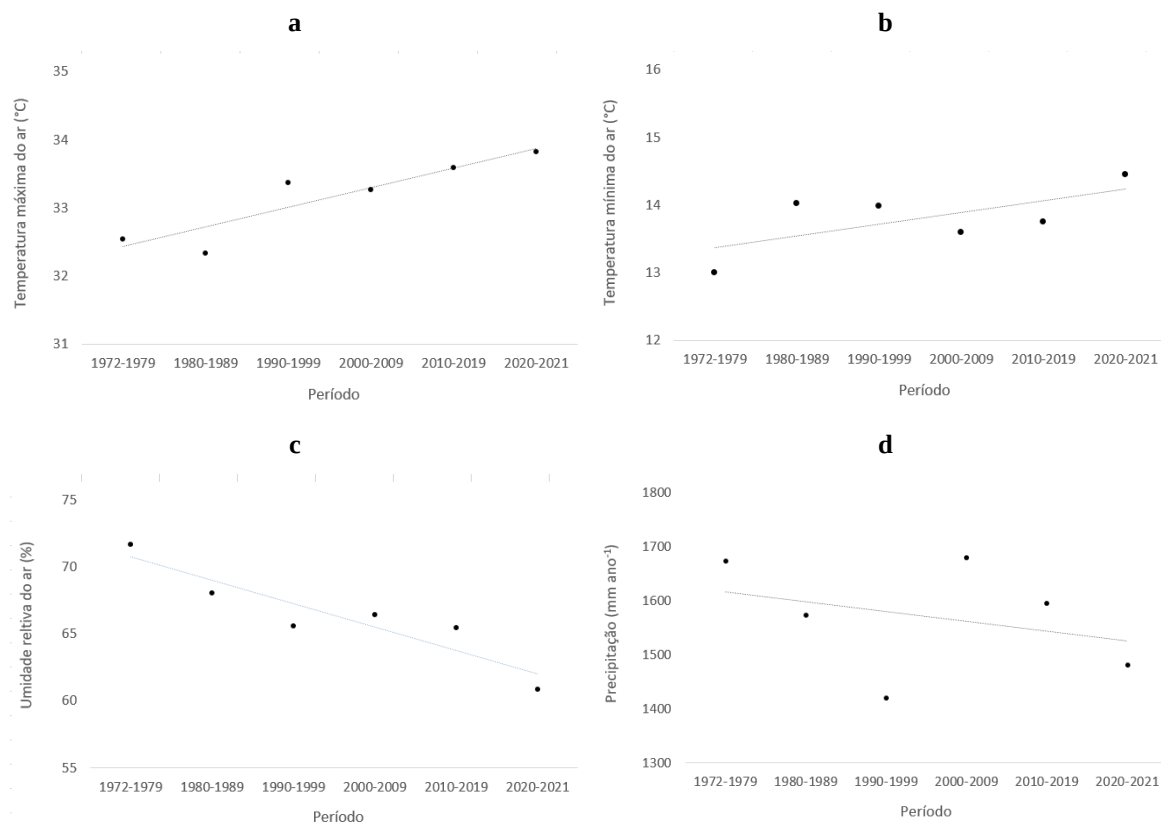


Figura 6 - Comportamento médio por década (1972-2021) de temperatura do ar máxima (a) e mínima (b), umidade relativa do ar (c) e precipitação (d) para o município de Rio Verde, Goiás, Brasil.

Em média, por década, há tendência de elevação da temperatura do ar máxima de $0,30^{\circ}\text{C}$ (Figura 6a) e da mínima de $0,22^{\circ}\text{C}$ (Figura 6b) e redução da umidade relativa de $1,6\%$ (Figura 6c) e de precipitação de $18,6\text{ mm}$ (Figura 6d). Resultados semelhantes foram apresentados por Bergamashi (2017), sobre a temperatura do ar.

As médias das temperaturas mínima, média e máxima em Rio Verde são de: $13,8 \pm 3,1$, $23,4 \pm 9,7$ e $33,1 \pm 1,3^{\circ}\text{C}$, respectivamente. Com a elevação média da temperatura obtida por década, prevê aumento na temperatura mínima e máxima em Rio Verde, que poderá chegar a $15,6^{\circ}\text{C}$ e $35,5^{\circ}\text{C}$, respectivamente, até o ano de 2100, caso sejam mantidos os mesmos padrões de crescimento que ocorreram de 1972 até 2021.

Gonçalves e Assad (2009), descrevem que as altas taxas de incremento anual de temperatura, sendo de $0,2^{\circ}\text{C}$ nas regiões Centro-Oeste e Sul. A elevação da temperatura média, no cenário mais pessimista, comprometendo a produção de milho na região Centro-Oeste e de soja de forma moderada no estado de Goiás (TANURE, 2020).

A elevação média da temperatura nas próximas décadas poderá ser limitada ao desenvolvimento da cultura do milho (PINTO et al., 2008). As culturas agrícolas serão passíveis

da redução Na produção agrícola, em função do encurtamento do ciclo e pelo aumento das perdas por respiração (BERGAMASCHI, 2017).

Caso sejam mantidos os mesmos padrões de redução no período de 1972 até 2021, espera-se que em 2100, a umidade do ar média seja 13% inferior, em relação à média histórica (1972-2021). Haverá redução do volume de chuva, sendo que até o ano de 2100, se mantido o mesmo comportamento, o volume de chuva médio anual será de 1.447 mm. A redução no volume de chuva também foi descrita por Pinto et al. (2008), que cita a região Centro-Oeste como a mais afetada, com a redução da precipitação até 2039.

Apesar de haver tendência de redução do volume de chuva médio anual em todos os períodos avaliados neste trabalho, o aumento da produtividade de soja ao longo do tempo (Figura 7a) associa-se a outras variáveis, como melhoramento genético, por exemplo. Não houve relação significativa entre a produtividade e volume de chuva (Figura 7b).

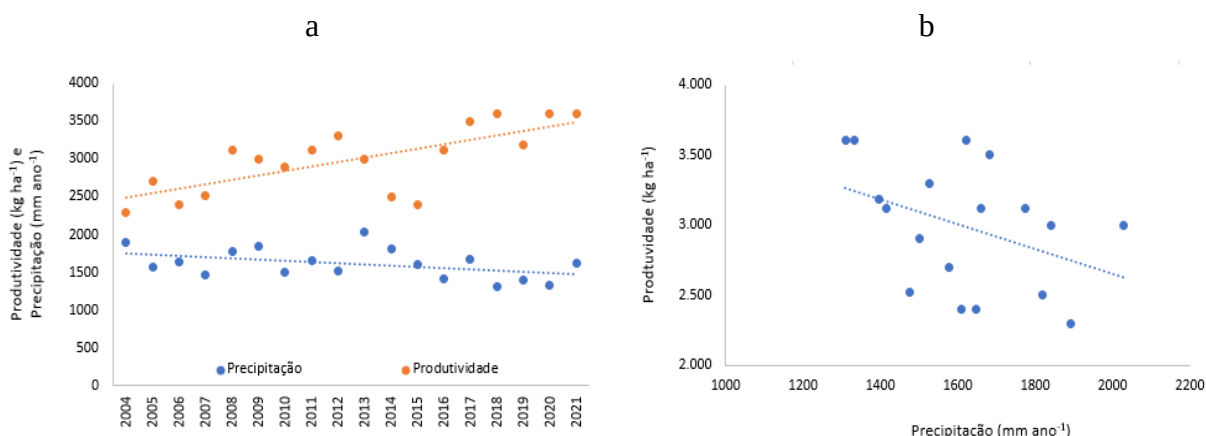


Figura 7 - Tendência do volume de precipitado e produtividade da soja (a) e a relação entre as variáveis, para o município de Rio Verde, Goiás.

Os elementos meteorológicos que mais impulsionam a produtividade de soja são: temperatura do ar, radiação solar e brilho solar (Figura 8). Com a elevação da temperatura, com as condições meteorológicas previstas no planeta terra para os próximos anos, essa situação pode comprometer a produtividade das lavouras. A precipitação não demonstrou ser um elemento meteorológico de forte influência na produção da soja.

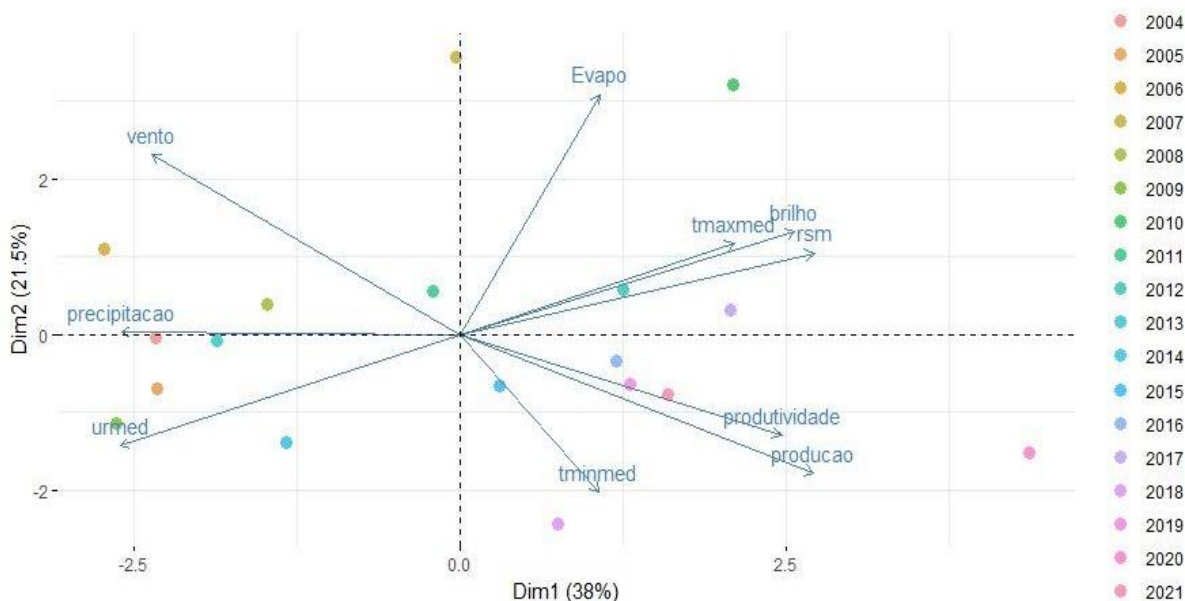


Figura 8 - Análise de componentes principais de dados climáticos e produtividade de soja no período de 1972 até 2021, para o município de Rio Verde, Goiás.

O brilho solar correlacionou-se forte e positivamente com a radiação solar média, da mesma maneira que a produção (quantidade produzida do grão de soja) com o rendimento médio do grão de soja (Figura 9). A quantidade diminuída de grãos percebida no intervalo temporal está correlacionada negativamente com o aumento da velocidade do vento médio (m s^{-1}) (-0,6) e a umidade relativa do ar (-0,5). Uma vez que, com o aumento da temperatura máxima a uma redução da URM (-0,6) e a EToM - Evapotranspiração média (mm dia^{-1}) (-0,6). A correlação das variáveis meteorológicas atuam diretamente no metabolismo da planta da soja, refletindo no potencial produtivo.

A temperatura mínima, que tem aumentado em torno de $0,2^{\circ}\text{C}$ a cada década, correlacionou-se moderadamente (0,4) com a produção da soja (Figura 6b; Figura 9). Isso acarreta em uma faixa de adequabilidade para o crescimento da planta da soja, em que a menor temperatura ótima para seu crescimento é de 15°C .

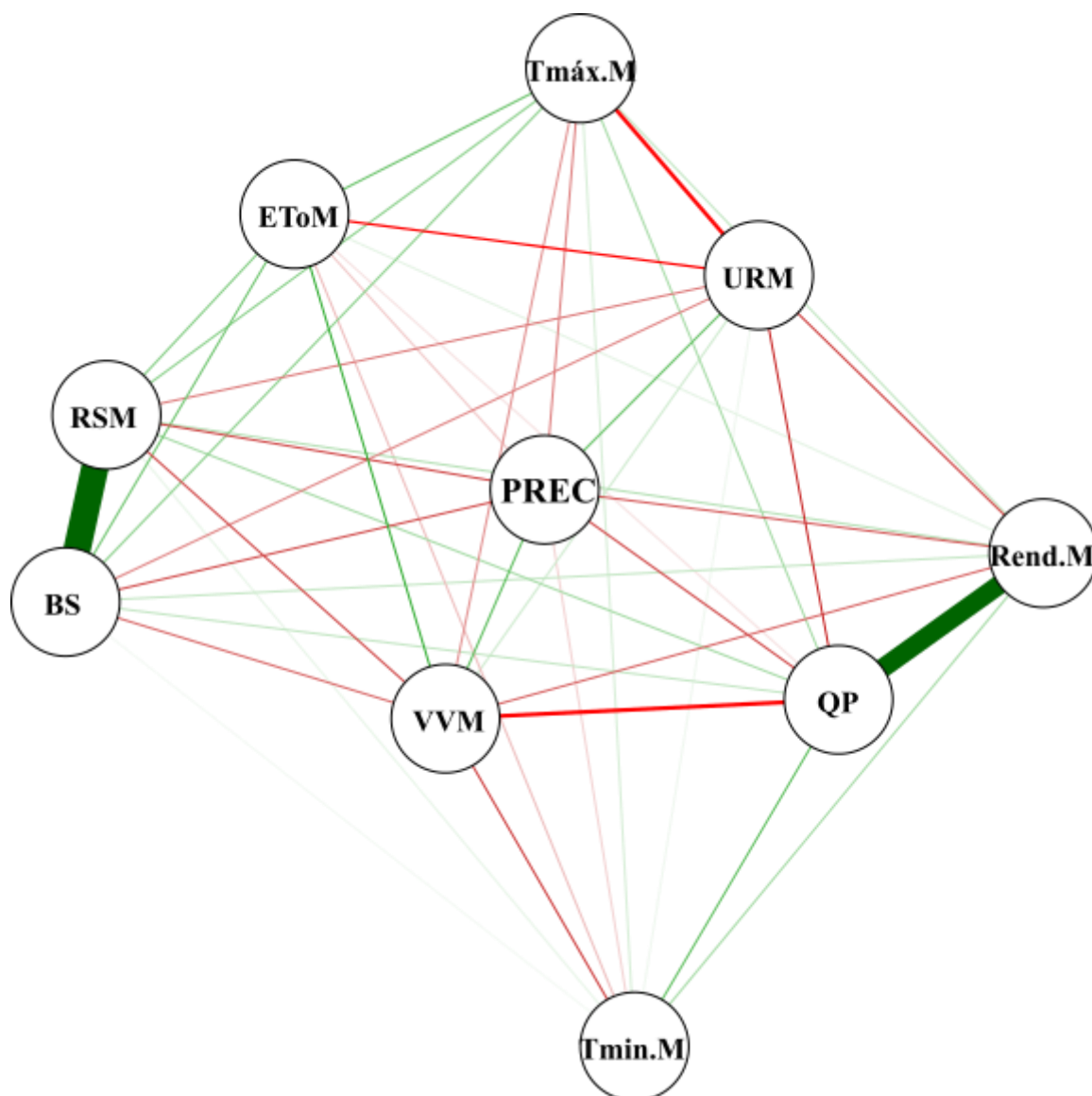


Figura 9 - Rede de correlação de Pearson entre as variáveis climáticas e produtivas da cultura da soja cultivada no município de Rio Verde, Goiás. PREC - Precipitação (mm); Tmáx.M - Temperatura máxima média (°C); Tmín.M - Temperatura mínima média (°C); BS - Brilho solar (h); RSM - Radiação solar média (MJ m⁻² dia); VVM - Velocidade do vento média (m s⁻¹); URM - Umidade relativa média (%); EToM - Evapotranspiração média (mm dia⁻¹); QP - Quantidade produzida (t); Rend.M - Rendimento médio (kg ha⁻¹).

O cultivo de primeira e segunda safra, com manejo tradicional na região de Rio Verde, é um desafio que nem sempre se tem o êxito esperado, pelos agricultores, pois, o término do vazio sanitário para a semeadura da cultura da soja (25 de setembro) não coincide com o período de disponibilidade de água no solo, favorável para semeadura (Figura 10) e o período de formação da espiga e enchimento dos grãos da cultura do milho ocorre drástica redução do volume de chuvas (abril), com registro de deficiência hídrica moderada. Para os próximos anos, Bergamashi (2017), descreve que na região do cerrado, a disponibilidade hídrica tende a ser mais limitante, sendo um dos maiores desafios para a agricultura. O aumento da deficiência

hídrica tem provocado queda de produção nas lavouras de soja nos estados de Goiás e Mato Grosso do Sul (ASSAD, 2021).

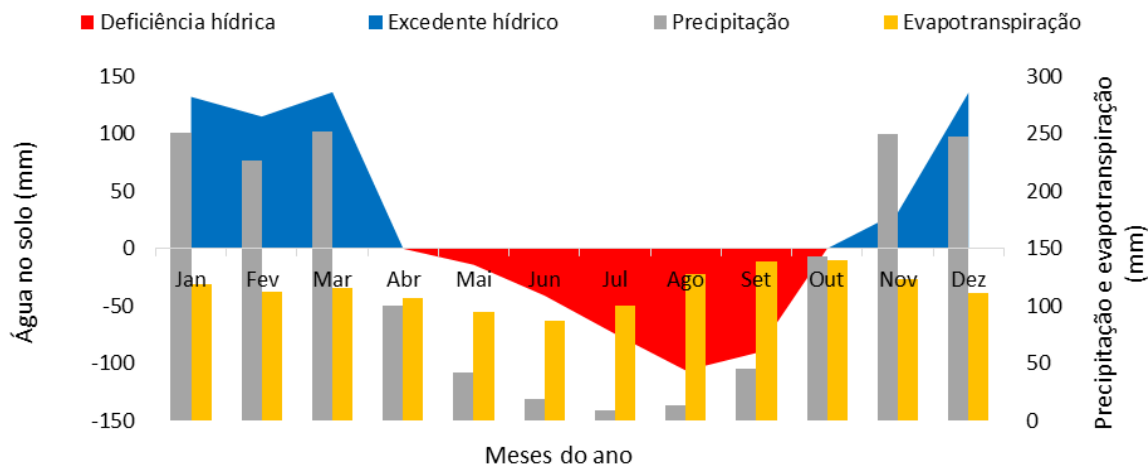


Figura 10 - Extrato do balanço hídrico climatológico normal (1972-2021) para o município de Rio Verde, Goiás, Brasil.

O início do período chuvoso em Rio Verde ocorre nos meses de setembro e/ou outubro, se estendendo até o mês de março e/ou abril, sendo que a reposição de água no solo (90 mm) ocorre, em média, até o dia 20 de novembro. Soares et al. (2021), avaliando vários genótipos de soja e seu desempenho, em função da disponibilidade de água armazenada no solo, concluíram que a semeadura da soja (120 dias), em período com disponibilidade hídrica favorável para o desempenho da planta durante o seu ciclo ocorre de 20 de outubro até 20 de novembro, na região de Rio Verde. Com a redução do volume de chuva, essa janela de plantio poderá se alterar, dificultando a segunda safra na região.

A deficiência hídrica ocorre quando a evapotranspiração da cultura é superior à precipitação. Com as mudanças climáticas, espera-se elevação da evapotranspiração, em função do aumento da temperatura e redução do volume de chuva, o que elevará a intensidade da deficiência hídrica e os números de dias sem chuva. Resultados semelhantes são esperados por Bergamaschi (2017). Esse fenômeno vem se repetindo com frequência nos últimos dez anos, o que indica não se tratar de um fenômeno cíclico (ASSAD, 2021).

A elevação no volume e no tempo da deficiência hídrica em Rio Verde poderá afetar o desempenho das culturas, desde a fase inicial, devido ao menor desenvolvimento das plantas e menor população, até o rendimento final do grão. Durante o ciclo das culturas, a floração é a fase de maior consumo de água, porém a falta de água é mais crítica durante o enchimento de grãos e os efeitos no rendimento dependem: da sua intensidade, duração, época de ocorrência,

cultivar, estágio de desenvolvimento da planta e da interação com outros fatores determinantes do rendimento (FARIAS, 2011).

O fator hídrico impõe condições adversas às culturas agrícolas. A deficiência hídrica provoca reações fisiológicas e morfológicas na planta, como: fechamento dos estômatos, murchamento de folhas, redução da área foliar, menor estatura da planta, queda de flores e frutos, redução na fixação do nitrogênio, ajustamento osmótico e outros, que reduzem a fotossíntese, afetando negativamente o crescimento e o rendimento de grãos (FARIAS, 2011). O excesso de chuva prejudica a germinação das sementes, através da embebição, e a falta de oxigênio para que as plântulas se desenvolvam. A soja precisa de 50% do seu peso em água para iniciar o processo de germinação (CENTURION; GHINI, 2008).

Desta forma, é necessário o fortalecimento das iniciativas que propiciam a mitigação e a adaptação às causas das mudanças climáticas. As atividades de mitigação e adaptação às mudanças climáticas são: o desmatamento zero, genótipos mais resistentes à seca, o uso mais adequado do solo, como a adoção, por exemplo, de sistemas agropastoris, agrossilvopastoris, plantio direto, elevação da produtividade em áreas já consolidadas, além de redução do uso de fertilizantes, fixação biológica de nitrogênio, recuperação de pastagens degradadas, tratamento de dejetos, aumento da captura de gás carbônico da atmosfera e ainda recuperação o solo para melhor fixação de carbono (ASSAD; PINTO 2008; GONDIM et al. 2017; FÉLIX et al. 2020), sendo estas as principais alternativas apontadas, para uma agricultura de baixo carbono.

Atividades como: o escalonamento da semeadura, a diversificação e a rotação de espécies serão cada vez mais necessárias para tornar os sistemas mais produtivos e menos susceptíveis aos riscos de eventos climáticos extremos (BERGAMASHI, 2017). Para o município de Rio Verde manter-se competitivo na produção de soja e milho, o cultivo de primeira e segunda época, será necessário haver mudanças fenológicas nas plantas, com prioridade de espécies com maior tolerância à seca e modificação de calendário agrícola.

Os impactos econômicos em Rio Verde poderão superar 510 milhões de reais anuais, tendo como referência o valor de produção disponibilizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017), considerando a queda de produção até 2050 de 35% de soja e 15% de milho (MARGULIS; DUBEUX, 2010). O impacto global das mudanças climáticas projetado para o período de 2040-2069 poderá resultar em perdas de lucro agrícola na produção de soja entre 0,8% e 3,7% e de até 26% para o período de 2070-2099 (EVANGELISTA et al. 2022).

Além da redução do valor monetário em circulação, espera-se diminuição: na comercialização de produtos, maquinários e fertilizantes, assim como, a redução da mão de

obra, afetando a economia regional. Para Félix et al. (2020), a atividade agrícola, afetada pelas mudanças climáticas, repercute em todo o sistema econômico.

Os desafios para amenizar os efeitos das mudanças climáticas são muitos. Uma forma de assegurar a produtividade das principais culturas agrícolas na região será através do melhoramento genético, para à obtenção de novas cultivares adaptadas a tais condições climáticas (PINTO et al. 2008; CENTURION; GHINI, 2008). O uso de sistemas de irrigação, a conservação da palhada no solo e a utilização de plantas de cobertura entressafra, consistem em algumas alternativas para amenizar os efeitos dos riscos climáticos (CASTRO; SANTOS, 2021).

O controle do desmatamento é urgente e necessário, caso contrário, não serão atingidas as metas propostas no Acordo de Paris (ASSAD, 2021). O mesmo autor cita ainda que o plantio de árvores, além de contribuir para a fixação de carbono, pode também ser uma fonte de renda para o produtor, além de reduzir a deficiência hídrica no solo, as perdas por veranicos ou secas mais prolongadas e os efeitos das geadas. (ASSAD, 2021). Atividades como o escalonamento da semeadura, a diversificação e a rotação de espécies serão cada vez mais necessárias para tornar os sistemas mais produtivos e menos susceptíveis aos riscos de eventos climáticos extremos (BERGAMASHI, 2017).

O cuidado com o planeta deve ser um compromisso de todos, com investimento nas políticas locais e mundiais de combate às mudanças climáticas (CENCI; LORENZO, 2020). Para isso, serão necessários: compromisso, participação, consciência ecológica, hábitos saudáveis, eficiência e inovação.

4 CONCLUSÕES

Caso sejam mantidos os mesmos padrões de emissões de gases do efeito estufa, as mudanças climáticas afetarão a produção de soja, através: do aumento da temperatura do ar, redução da umidade relativa, maior demanda hídrica pelas culturas, distribuição irregular das chuvas e a tendência de aumento de eventos extremos, impactando diretamente na produtividade da cultura.

A temperatura mínima do ar e a radiação solar são os elementos meteorológicos de maior influência na produção da soja. O aumento gradativo dessas variáveis pode comprometer o desempenho da cultura, reduzindo a produção.

Para o município de Rio Verde-GO manter-se competitivo na produção de soja será necessário haver mudanças fenológicas das plantas, com prioridade de espécies com maior tolerância à seca e modificação do calendário agrícola.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).

ASSAD, E. D. Sistemas agrícolas adaptados às mudanças climáticas. **Ciência e Cultura**, v.73, n.1, p.35-40, 2021.

ASSAD, E. D.; PINTO, H. S. **Aquecimento global e cenários futuros da agricultura brasileira**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e Universidade de Campinas (Unicamp). 84p., 2008.

ASSMANN, J. **Simulação do balanço hídrico sequencial e da necessidade de irrigação para a cultura da soja em vinte anos agrícolas**. 2023.

BERGAMASCHI, H. **As plantas e o clima: princípios e aplicações**. Guaíba: Agrolivros, 2017.

BHERING, L. L. Rbio: A tool for biometric and statistical analysis using the R platform. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.17, p.187-190, 2017. <https://doi.org/10.1590/1984-70332017v17n2s29>.

CASTRO, P. A. L. de; SANTOS, G. O. Condições climáticas como ferramenta de planejamento agrícola e urbano, o caso do município de Rio Verde, Goiás. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v.14, n.3, e8119, p.1-19, 2021.

CENCI, D. R.; LORENZO, C. A mudança climática e o impacto na produção de alimentos: alguns elementos de análise da realidade Brasileira e Argentina. **Revista do Departamento de Ciências Jurídicas e Sociais da Unijuí**, Unijuí, n.53, p.32-43, 2020.

CENTURION, M. A. O. da C.; GHINI, R. **Impacto potencial das mudanças climáticas sobre as doenças e o desenvolvimento da soja no Brasil**. In.: Mudanças climáticas: impactos sobre doenças de plantas no Brasil. Organizadores: RAQUEL GHINI, EMÍLIA HAMADA. Brasília, DF: Embrapa. 331p. 2008.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos, Brasília, DF, v.9, safra 2021/22, n.10, **Décimo levantamento**, 2022.

CRESTANI MOTA, M. **Análise de Risco Edafoclimático para a Soja Cultivada na Região do Cone Sul de Rondônia: Diagnóstico Atual e em Cenários Futuros do Clima**. 2019.

DIAS, R. Mudanças climáticas e insegurança alimentar: uma revisão sistemática dos efeitos do aquecimento global na produção e disponibilidade de alimentos. **Revista Foco**, v.16, n.9, p.e3142-e3142, 2023.

DIAS, V. S. **Agricultura regenerativa: estudo de caso em lavoura comercial de soja no município de Rosário do Sul, Rio Grande do Sul**. 2023. Dissertação (Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão) Universidade Federal de Santa Maria, RS (UFSM, RS).

DINIZ, W. A.; CÔRREA, F. R.; SILVA, N. F. da; CAVALCANTE, W. S. da S.; RIBEIRO, D. F.; RODRIGUES, E. Controle de buva em pré-semeadura na cultura da soja em Goiás, Brasil. **Brazilian Journal of Science**, v.2, n.3, p.82-91, 2023.

DUARTE, Y. C. N. **Impacto das mudanças climáticas no Brasil e sua influência no cultivo e na produtividade do milho**: uma abordagem multi-modelos. 2023. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Tecnologias de Produção de Soja. Sistemas de Produção, p.1-348, 2020.

EVANGELISTA, B. A.; CAMPOS, L. J. M.; SILVA, F. A. M. da; SIMON, J.; RIBEIRO, I. L.; VALE, T. M. do. **Possíveis impactos das mudanças climáticas sobre o zoneamento agrícola de risco climático da cultura da soja no Estado do Tocantins**. Agricultura e mudanças do clima no estado do Tocantins: vulnerabilidades, projeções e desenvolvimento. p.167-184. 2022.

FARIAS, J. R. B. Limitações climáticas à obtenção de rendimentos máximos de soja. Mercosoja: 14 a 16 de setembro, Rosário, Argentina. 5º Congresso de soja do Mercosul e 1º Fórum de soja da Ásia - Mercosul. **Anais...** 4 p., 2011.

FÉLIX, A. da S.; NASCIMENTO, J. W. B. do; MELO, D. F. de; FURTADO, D. A.; SANTOS, A. M. dos. Análise exploratória dos impactos das mudanças climáticas na produção vegetal no Brasil. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v.13, n.1, p.397-407, 2020.

GAVA, R.; FRIZZONE, J. A.; SNYDER, R. L.; JOSE, J. V.; FRAGA JUNIOR, E. F.; PERBONI, A. O estresse hídrico em diferentes fases da cultura da soja. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada - RBAI**, v.9, n.6. p.349-359, 2015.

GAVA, R.; LEITE, R. **Variedade climática e a produtividade da soja**. INOVAGRI, 2021.

GONÇALVES, R. R. do V.; ASSAD, E. D. Análise de tendências de temperatura mínima do Brasil. Apresentado no XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 22 a 25 de setembro de 2009, GranDarrell Minas Hotel, Eventos e Convenções, Belo Horizonte, MG. **Anais...** p.1-5, 2009.

GIRELI, B. T. C.; GHELLER, P. P.; DALLEMOLE, D.; ORLANDI, M. Uma análise do impacto institucional na produção da soja nos estados brasileiros por meio índices de produtividade e análise espacial. **Revista de Gestão e Secretariado (Management and Administrative Professional Review)**, v.13, n.3, p.1955-1972, 2022.

GOMES, M. R. Evolução e perspectivas de desempenho econômico e produção da soja nos contextos brasileiro e paranaense. **Revista (RE) Definições das fronteiras**, v.1, n.2, p.349-360, 2023.

GONÇALVES, R. R. do V.; ASSAD, E. D. Análise de tendências de temperatura mínima do Brasil. Apresentado no XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 22 a 25 de setembro de 2009, GranDarrell Minas Hotel, Eventos e Convenções, Belo Horizonte, MG. **Anais...** p.1-5, 2009.

GONDIM, R. S.; FIGUEIREDO, M. C. B. de; MAIA, A. de H. N.; BEZERRA, M. A.; CARVALHO, C. A. C. de. (Ed.). **Produção de melão e mudanças climáticas: sistemas conservacionistas de cultivo para redução de pegadas de carbono e hídrica**. Brasília, DF: Embrapa, p.101-116, 2017.

GUNDIM, A. da S. **Potencial de mitigação de perdas por déficit hídrico na cultura da soja pela aplicação dos fungos *Beauveria bassiana* e *Metarhizum anisopliae* no sulco de plantio**. 2022. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Agropecuário - 2017**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>>. Acesso: 17 fev 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produção agrícola municipal - 2020**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>>. Acesso: 25 jan 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/>>. Acesso em 10 jan 2022.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2021: the physical Science basis**. 3949 p.2021.

LIMA, I. F.; de S. O.; F.; JUNIOR, W. D. R. N.; DE OLIVEIRA, S. E. A.; FURTADO, L. G. Alterações Antrópicas no Uso da terra e seu Impacto na Temperatura do Ar na Porção Setentrional do Pará. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.16, n.3, p.1565-1585, 2023.

LOPES SOBRINHO, O. P.; SANTOS, L. N. S.; SANTOS, G. O.; CUNHA, F. N.; SOARES, F. A. L.; TEIXEIRA, M. B. Balanço hídrico climatológico mensal e classificação climática de Köppen e Thornthwaite para o município de Rio Verde, Goiás. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 27, p. 19-33, 2020.

MAGANO, D. A.; MACHADO, M. R. R.; JERÓNIMO, J. A.; GUEDES, J. V. C.; DOBERSTEIN, A. P. S. Modelagem geoestatística aplicada a distribuição espacial de lagartas presentes na cultura da soja: Modelagem geoestatística aplicada à distribuição espacial de lagartas presentes na cultura da soja. **Revista Brasileira de Pesquisa Animal e Ambiental**, v.6, n.1, p.20-29, 2023.

MARGULIS, S.; DUBEUX, C. B. S. **Economia da mudança do clima no Brasil: custos e oportunidades**. Jacques Marcovith (Diretor Geral). São Paulo, IBEP Gráfica, 2010. 82p.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION - NOAA. **Cold & Warm Episodes by Season**. Disponível em: <https://www.noaa.gov/>. Acesso em: 21 jan 2022.

OLIVEIRA, A. V. de; UZARTE, A. C. da S.; GASPAR, C. M.; MENDONÇA, C. P. de.; GIANELLO, L. F. V.; SANTOS, M. G.; PORFIRIO, V. R. da S. **Manejo da irrigação na cultura do milho**, 2022.

MOTA, M. C. **Análise de Risco Edafoclimático para a Soja Cultivada na Região do Cone Sul de Rondônia**: Diagnóstico Atual e em Cenários Futuros do Clima. 2019.

PALMER, P. I.; FENG, L.; LUNT, M. F.; PARKER, R. J.; BOSCH, H.; LAN, X.; BORSCHORFF, A. L. T. The added value of satellite observations of methane for understanding the contemporary methane budget. **The Royal Society**, p.1-21, 2021. <https://doi.org/10.1098/rsta.2021.0106>.

PELLEGRINO, G. Q.; ASSAD, E. D.; MARIN, F. R. Mudanças climáticas e a agricultura no Brasil. **Revista Multiciência**, n.8, p.139-162, 2007.

PINTO, N. F. J. de A.; OLIVEIRA, E. de; FERNANDES, F. T. **Impacto potencial das mudanças climáticas sobre as doenças do milho no Brasil**. In.: Mudanças climáticas: impactos sobre doenças de plantas no Brasil. Organizadores: RAQUEL GHINI, EMÍLIA HAMADA. Brasília, DF: Embrapa. 331p. 2008.

ROSSATTO, A. A. P.; KIRCHNER, J. H.; MARTINS, J. D.; SANDER, L. S.; AMARAL, W. N. B. do.; PETRY, M. T. Partição da evapotranspiração da cultura da soja em diferentes cultivares em cada estágio fenológico. **IRRIGA**, v.27, n.3, p.477-492, 2022.

SANTOS, A. K. A.; PINHEIRO, C. C. C.; FERREIRA, C. S.; DE OLIVEIRA LOUZANO, F. S.; DA SILVA, L. C. A. Uso de extratos vegetais no controle In Vitro de patógenos em sementes de *Glycine max* (L.). **Tópicos em Ciências Agrárias**, v.5, n.54, 2020.

SANS, L. M. A. **A influência dos atributos climáticos na implantação do milho e sorgo em safrinha**. X Seminário Nacional Milho Safrinha. Rio Verde, Goiás. p.67-74, 2009. Disponível em: <<http://www.abms.org.br>>. Acesso em: 17 fev 2022.

SCHAPARINI, L. P. **Balanço da radiação fotossinteticamente ativa na soja e o uso de dados espectrais, oriundos de sensores remotos, para estimativa da produtividade primária líquida**. 2021.

SILVA, C. D. **Cultura da soja (*Glycine max*)**: uma abordagem sobre a viabilidade do cultivo no município de Ribeira do Pombal (BA). 2021.

SILVA, F.; BORÉM, A.; SEDIYAMA, T.; CÂMARA, G. **Soja: do plantio à colheita**. Oficina de Textos, 2022.

SILVA, M. A.; NASCENTE, A. S.; LANNA, A. C.; REZENDE, C. C.; CRUZ, D. R. C.; FRASCA, L. L. de M.; FERREIRA, I. V. L.; DUARTE, J. R. de M.; FILIPPI, M. C. C. de. Sistema de plantio direto e rotação de culturas no Cerrado. **Research, Society and Development**, v.11, n.13, p.e376111335568-e376111335568, 2022.

SILVA, M. A.; NASCENTE, A. S.; MELLO FRASCA, L. L. de; REZENDE, C. C.; FERREIRA, E. A. S.; FILIPPI, M. C. C. de; LACERDA, M. C. Plantas de cobertura isoladas e em mix para a melhoria da qualidade do solo e das culturas comerciais no Cerrado. **Research, Society and Development**, v.10, n.12, e11101220008-e11101220008, 2021.

SILVA, R. E. da; ALMEIDA, W. J. de S. **Resposta da cultura da soja submetida a diferentes métodos de regulação de crescimento**. 2019.

SILVA, V. T.; GAVA, R.; COTRIM, M. F.; WASSOLOWSKI, C. R., TEODORO, P. E., SNYDER, R. L. Manejo de irrigação na cultura da soja em sistema de semeadura direta, sobre restos culturais de *Brachiaria ruziziensis*. **Research, Society and Development**, v.9, n.6, e64963430-e64963430, 2020.

SOARES, S. L.; SANTOS, G. O.; SIMON, G. A.; ALVARES, R. C. Development of soybean genotypes as a function of water availability and sowing seasons in Rio Verde, state of Goiás. **Revista Engenharia na Agricultura**, v.29, p.169-178, 2021.

SOUSA, M. N. A.; ALMEIDA, E. P. de O. **Interface Saúde e Meio Ambiente**. Editora Appris, 2020.

TAMATAYA, J. H.. **Análise ambiental do relevo e dos recursos hídricos da Bacia do Sorocabuçu**, Ibiúna/SP. 2022.

TANURE, T. M. do P. **Mudanças climáticas e agricultura no Brasil: impactos econômicos regionais e por cultivo familiar e patronal**. Universidade Federal de Minas Gerais – Tese. 258 p. 2020.

TEJO, D. P.; FERNANDES, C. H. dos S.; BURATTO, J. S. Soja: fenologia, morfologia e fatores que interferem na produtividade. **Revista científica eletrônica de Agronomia da FAEF**, v.35, n.1, p.1-9, 2019.

TINOCO, E.; PRIMIERI, C. Avaliação da eficiência de fertilizantes de liberação controlada na cultura da soja. **Revista Cultivando o Saber**, p.38-46, 2023.

TRINDADE, B. C. **A importância da conservação da biodiversidade do solo na América Latina para a segurança alimentar e para a promoção do objetivo de desenvolvimento sustentável**. 2023. TCC (trabalho de conclusão de curso em Relações Internacionais). Universidade Federal de Uberlândia Minas Gerais MG.

VIDAL, T. **Balanço hídrico climatológico para o cultivo de soja (*Glycine max* sp.) na bacia hidrográfica do rio urussanga, frente ao cenário de climas futuros**. 2023. Tese de Doutorado.

ZAGO, A. E. T. **Doses de dejetos sólidos de suínos no desenvolvimento e produtividade na cultura da soja (*Glycine max*) em condições de Cerrado**. 2023. TCC (trabalho de conclusão de curso em Ciências Agrárias Agronomia) Instituto Federal Goiano (IF goiano). Rio Verde Goiás.

CAPÍTULO 2

MODELAGEM DE NICHOS PARA CULTIVARES TOLERANTES A ESTRESSE POR SECA

RESUMO

As alterações climáticas poderão afetar negativamente as áreas agrícolas, transformando áreas adequadas em inadequadas ao cultivo de soja. Compreender o comportamento das alterações climáticas e como estas afetarão no desenvolvimento das culturas pode auxiliar na tomada de decisões de medidas que mitiguem os efeitos negativos. Assim, o objetivo com esse estudo foi apresentar a modelagem de habitats para variedades de soja tolerantes à seca a fim de compreender e prever as áreas mais promissoras para o desenvolvimento e desempenhos dessas variedades em ambientes específicos. Para isso, foram utilizados os dados de ocorrência da soja *Glycine max* spp. coletados de publicações científicas, disponíveis no *Global Biodiversity Information Facility* (GBIF) e analisados com o algoritmo CLIMEX com projeções para os anos de 2020 a 2100. As cultivares utilizadas foram selecionadas conforme o caráter de tolerância à seca e de acordo com a região cuja é indicada o cultivo no Cerrado. A distribuição da *Glycine max* é bastante ampla a nível mundial, com amplas áreas adequadas ao cultivo da espécie, porém, ao longo dos anos, há uma tendência de aumento expressivo (5,7%) de áreas que começam a se tornarem inadequadas para o cultivo de soja no mundo até 2100. No Brasil, essas áreas se concentram nas regiões norte, nordeste e centro-oeste. No município de Rio Verde, deve haver uma permanência no padrão meteorológico propício ao cultivo de soja, mantendo até o ano de 2100 como moderadamente adequado. Diante de cenários pessimistas de mudanças climáticas, pode-se concluir que há necessidade de cultivares cada vez mais tolerantes à seca, e se torna fundamental a adoção de práticas que auxiliem nessa tolerância a seca, como adoção de irrigação, manejo adequado do solo, prática do plantio direto entre outras práticas que dê suporte à planta para tolerar a seca.

Palavras-chave: Estresse hídrico, Soja, Mudanças Climáticas.

CHAPTER 2

NICHE MODELING FOR DROUGHT STRESS TOLERANT CROPS

ABSTRACT

Climate change may vary according to agricultural areas, modifying specific areas in restrictions on soybean cultivation. Understanding the behavior of climate change and how it affects crop development can help in decision-making on measures that mitigate negative effects. Thus, the objective of this study was to present habitat modeling for drought-tolerant soybean varieties in order to understand and predict the most promising areas for the development and performance of these varieties in specific environments. For this, data on the occurrence of soybean *Glycine max* spp. discoveries from scientific publications, available at the Global Biodiversity Information Facility (GBIF) and analyzes with the CLIMEX algorithm with projections for the years 2020 to 2100. The cultivars used were selected according to their drought tolerance character and according to the region whose region cultivation in the Cerrado is recommended. The distribution of *Glycine max* is quite wide worldwide, with large areas specific to the cultivation of the species, however, over the years, there is a tendency for a significant increase (5.7%) of areas that initially became discovered for the soybean cultivation in the world until 2100. In Brazil, these areas are concentrated in the north, northeast and central-west regions. In the municipality of Rio Verde, there should be a continuation of the meteorological pattern conducive to soybean cultivation, remaining moderately suitable until the year 2100. Faced with pessimistic scenarios of climate change, it can be concluded that there is a need for increasingly more drought-tolerant cultivars, and it is essential to adopt practices that help with this drought tolerance, such as adopting flexibility, adequate soil management, practice direct planting among other practices that support the plant to tolerate drought.

Keywords: Water stress. Soy. Climate Change.

1 INTRODUÇÃO

A modelagem para a soja (*Glycine max*) é um processo que envolve a criação de representações matemáticas, estatísticas e computacionais da produção, crescimento e comportamento da planta, em diversos cenários (DELGADO; VENTURA, 2020). As representações permitem simular e prever o desempenho da cultura sob diferentes condições, como: variações climáticas, práticas agronômicas e fatores de estresse (REIS, 2020; CÔRTEZ, 2022; MORAIS, 2023). A modelagem desempenha um papel fundamental no contexto da soja, dentro do âmbito econômico e alimentar, oferecendo a capacidade de avaliar e aprimorar estratégias de manejo, otimizar o uso de recursos, antecipar riscos relacionados a pragas e doenças, e, em última instância, contribuir para o aumento da produtividade e a sustentabilidade dessa cultura para a segurança alimentar global (BRITO et al., 2023).

A soja participa de forma direta na agricultura e economia global, responsável pela produção de: alimentos, rações, biocombustíveis e produtos agrícolas (ARAÚJO, 2023). As regiões em que a soja é predominante, como o Brasil, seu impacto econômico e social é identificado por diversos nichos de produção (CRISPIM, 2021). Mas o cultivo de soja enfrenta desafios como: variabilidade climática e pragas, e neste contexto, as temperaturas mínimas e máximas representam fatores críticos que influenciam diretamente no processo de crescimento, o estabelecimento das fases fenológicas, a produtividade e a qualidade dos grãos (ALBUQUERQUE et al., 2023; NASCIMENTO NETO, 2023).

A modelagem das temperaturas mínimas e máximas é portanto, uma ferramenta utilizada na agricultura moderna, permitindo prever e entender as variações climáticas e como estas afetam o desenvolvimento da soja, sendo que, através da utilização de modelos climáticos e dados históricos, os agricultores podem tomar decisões informadas, desde o planejamento do plantio até a colheita, visando otimizar o rendimento da cultura (FERNANDES, 2022). Além disso, a modelagem das temperaturas contribui para a identificação de tendências a longo prazo, no contexto das mudanças climáticas, permitindo o desenvolvimento de estratégias de adaptação e resiliência para a produção sustentável (SOUZA, 2021).

Ao combinar métodos de modelagem com os desafios específicos da produção de soja, as pesquisas buscam não apenas aprimorar a produtividade e a sustentabilidade do cultivo, mas também: reduzir custos, mitigar riscos e contribuir para a segurança alimentar global (BRITO et al., 2023). A importância da soja na economia e alimentação global torna essa pesquisa viável, pois seu sucesso tem o potencial de gerar benefícios: para a agricultura, a sociedade e o

progresso da ciência (CRISPIM, 2021; ARAÚJO 2023).

A modelagem de tendências climáticas é uma ferramenta para os agricultores de soja, pois fornece dados que: otimizam o cultivo, melhora a resiliência das colheitas e contribui para a sustentabilidade a longo prazo da agricultura. Em geral, a modelagem climática permite realizar: o planejamento de plantio, o manejo de irrigação, através de informações sobre padrões de precipitação previstos e garantir que as plantas recebam a quantidade certa de água, principalmente nos períodos de germinação/emergência e floração/enchimento de grãos, e assim otimizar a utilização da irrigação, permite também realizar a previsão de riscos climáticos, selecionar variedades adequadas, gerenciar as pragas e doenças, eficiência no uso de recursos como uso de fertilizantes e defensivos agrícolas (IPCC, 2021).

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi apresentar a modelagem de habitats para variedades tolerantes à seca para compreender e prever as áreas mais promissoras, para o desenvolvimento e desempenhos dessas variedades, em ambientes específicos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local de Estudo

O estudo foi realizado no município de Rio Verde, região do Sudoeste do Estado de Goiás, Brasil, localizado entre as coordenadas 17°16'S e 51°42'W e 18°09'S e 50°22'W (Figura 11). Os dados meteorológicos foram obtidos da Estação Meteorológica Convencional de Rio Verde (OMM: 83470) que localiza-se na coordenada 17°48'S e 50°55'W a 774,62 m de altitude, no campus da Universidade de Rio Verde (UniRV) em parceria com o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

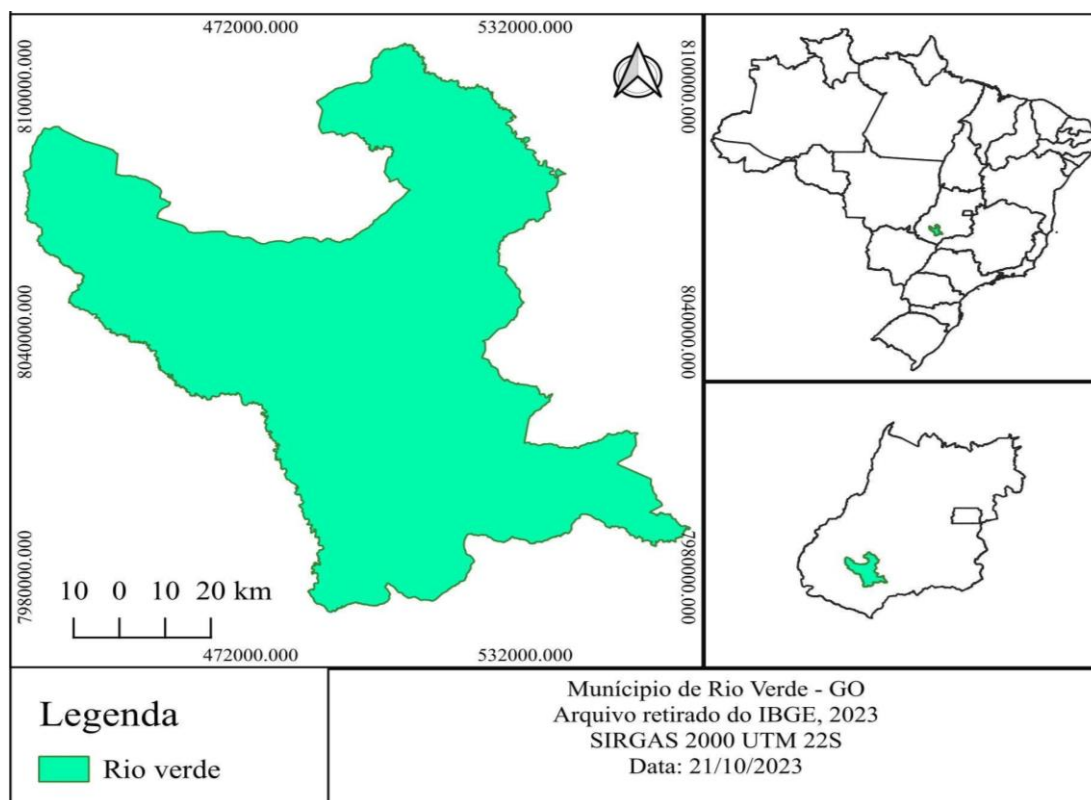


Figura 11 - Localização geográfica do município de Rio Verde, estado de Goiás, Brasil.

O clima da região de Rio Verde é Aw Tropical, com duas estações climáticas bem definidas, sendo uma seca e amena (abril a setembro) e outra quente e chuvosa (outubro a março) (LOPES SOBRINHO et al., 2020). O município foi escolhido para foco do estudo, em função de sua participação ativa e significativa, na produção agrícola de soja, pois ocupa o segundo lugar dentre os municípios brasileiros, que mais produzem soja, sendo responsável por cerca de 1.638.000 de toneladas de grãos de soja (IBGE, 2022).

2.2 Distribuição da soja (*Glycine max*)

Os dados de ocorrência da soja foram coletados de publicações científicas, disponíveis no *Global Biodiversity Information Facility* - GBIF (<https://doi.org/10.15468/dl.5vedvv>). A busca e triagem dos dados foram realizadas levando em consideração o material genético associado (cultivares). A palavra-chave usadas na pesquisa foi “*Glycine max* s”.

As principais cultivares cultivadas no município de Rio Verde são: BMX Bonus IPRO, BRS 8560RR, BRSGO 7654RR, BRSGO 7858RR, BRS 7270IPRO, BRSGO 7755RR, TMG 7061 IPRO, TMG 2383 IPRO (Tabela 2). Todas apresentam um grau de tolerância ao estresse por calor.

Tabela 2 - Genótipos utilizados para bioprospecção das áreas de adequabilidade nos cenários de futuras mudanças climáticas

Cultivar	Resistência	Local de Cultivo
TMG 7061 IPRO	Insetos, Herbicida	DF, GO, MG
BRS 8560RR	Herbicida	BA, DF, GO, MA, MG
BRSGO 7654RR	Herbicida	DF, GO
BRSGO 7858RR	Herbicida	DF, GO
BMX Bonus IPRO	Insetos, herbicida	TO, GO, MS
BRS 7270IPRO	Insetos, herbicida	DF, GO, MG
BRSGO 7755RR	Herbicida	GO, MG, MS
TMG 2383 IPRO	Insetos, Herbicidas	DF, GO, MA

2.3 Criação do modelo de distribuição das cultivares de soja

Para criação dos cenários de distribuição geográfica das cultivares de soja, utilizou-se o *software* CLIMEX[®] versão 4.0 (KRITICOS et al., 2015). O CLIMEX[®] simula os mecanismos que limitam a distribuição da espécie determinando sua fenologia sazonal e sua abundância de acordo com as projeções climáticas em escala temporal.

A formação dos modelos e cenários futuros o CLIMEX[®] correlacionou as ocorrências geográficas e os dados meteorológicos de resolução quadriculada CliMond 10' para a obtenção do modelo de adequação climática, distribuição atual, ano 2023, e projeção futura para o cenário A2 - do modelo *Global Research Organization* (CSIRO - Mk3.0) para os anos: 2050, 2080 e 2100, em função da resposta ecológicas das cultivares de soja utilizadas, no município de Rio Verde. Os cenários apresentam maior emissão de efeito estufa e aumento da temperatura média estimada a + 3,4°C (MEEHL et al., 2018).

Para a determinação e ajuste dos parâmetros CLIMatic index, e validação do modelo, foram utilizados pontos georreferenciados de ocorrências da soja pelo mundo, partindo como base: a temperatura, umidade do solo e precipitação (Tabela 3).

Tabela 3 - Parâmetros CLIMatic index - CLIMEX para modelagem de *Glycine max* sp. para o cenário de mudanças climáticas

Índice	Parâmetro	Valor	Referência
Temperatura	DV0 = Limite inferior da temperatura	10°C	Oliveira (2004)
	DV1 = Menor temperatura ótima	15°C	Oliveira (2004)
	DV2 = Maior temperatura ótima	32°C	Hung e Chieng (1978)
	DV3 = Limite superior da temperatura	37°C	Ferreira et al. (2007)
Umidade	SM0 = Limite inferior da umidade do solo	01	Boucher e Malajezuk (1990)
	SM1 = Menor umidade ótima do solo	0,5	
	SM2 = Maior umidade ótima do solo	0,7	
	SM3 = Limite superior da umidade do solo	1,5	
Estresse por frio	TTCS = Limiar de temperatura de tensão fria	10°C	Oliveira (2004)
	THCS = Taxa de temperatura de tensão fria	-0,001sem ⁻¹	Kriticos et al. (2015)
Estresse por calor	TTCS = Limite máximo de temperatura	37°C	Ferreira et al. (2007)
	TTHS = Taxa de estresse por calor	-0,001 sem ⁻¹	Kriticos et al. (2015)
Estresse Seca	SMDS = Limiar de umidade do solo	0,1	Boucher e Malajezuk (1990)
	HDS = Taxa de estresse seco	0,0006 sem ⁻¹	Kriticos et al. (2015)
Estresse úmido	SMWS = Limiar de umidade do solo	2,5	Boucher e Malajezuk, 1990
	HWS = Taxa de estresse por úmido	0,001 sem ⁻¹	Kriticos et al., 2015

sem⁻¹: acúmulo de estresse por semana.

O índice ecoclimáticos (IE) que descreve a adequação climática das espécies utiliza escala de 0 a 100. O IE próximo de 0 indica que o local não é adequado para a sobrevivência em um futuro da espécie, e IE > 30 representa um clima muito adequado para a sobrevivência (KRITICOS et al., 2015).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Modelo de nicho ecológico para cultivares tolerantes a estresse por seca

No levantamento de 2020, foram encontradas 94.050 ocorrências da espécie pelo mundo no GBIF (Figura 12). A distribuição geográfica para as cultivares de soja se concentraram no continente asiático com maior incidência nas regiões do extremo oriente, ásia meridional e sudeste asiático. No continente europeu também há uma ocorrência de genótipos de *Glycine max*. A maioria dos genótipos incidiram em maior proporção nas áreas consideradas como adequadas, sendo >30 EI, confirmando a adequação do modelo 2020, para cultivo da cultura.

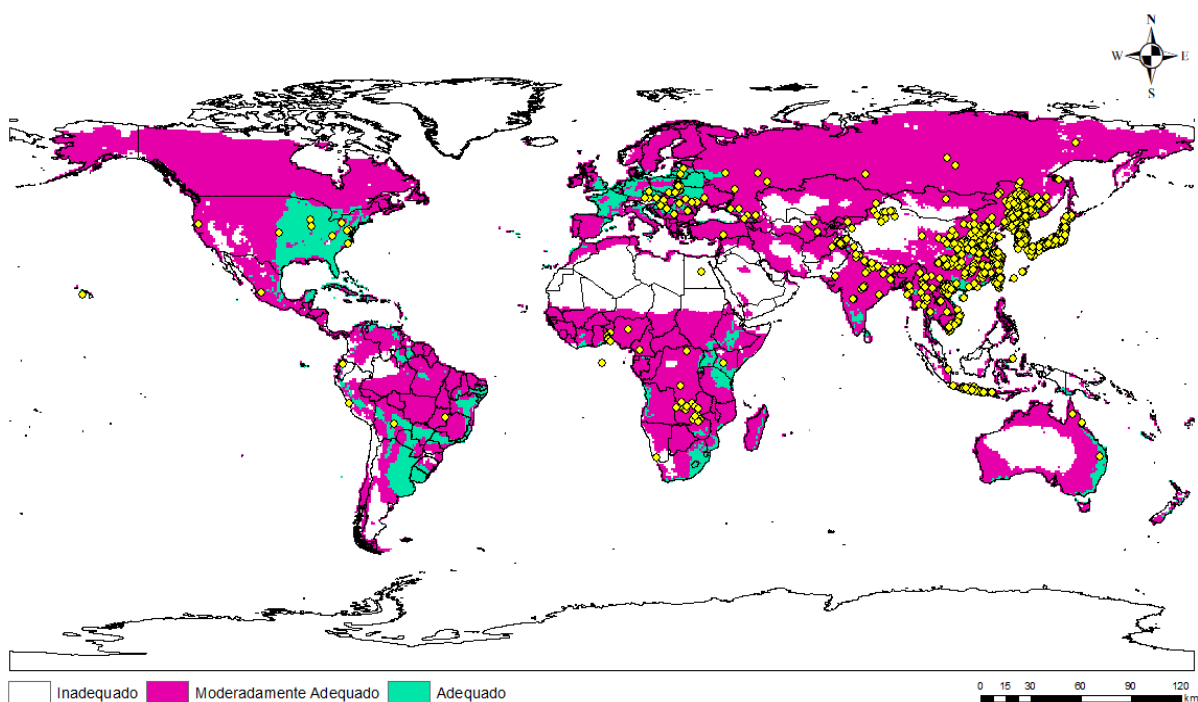


Figura 12 - Distribuição e adequação do modelo de nicho ecológico para ocorrência de genótipos de *Glycine max* tolerantes a seca, Ano 2020.

No continente africano, há incidências de genótipos de *Glycine max*, porém, em menor proporção, sendo inadequado, quando comparadas às regiões citadas anteriormente. No Brasil, há ocorrência em todos os estados (Figura 13), com menor área de plantio nos estados: do Acre, Amazonas, Ceará, Espírito Santo, Paraíba, Pernambuco, Rio Grande do Norte, Rio de Janeiro e Sergipe. Diante deste cenário, o estado de Goiás e o município de Rio Verde se enquadram, em maior parte como moderadamente adequado, para cultivo da soja, sendo necessária medidas alternativas para minimizar fatores que coloquem em risco o cultivo do grão na região goiana.

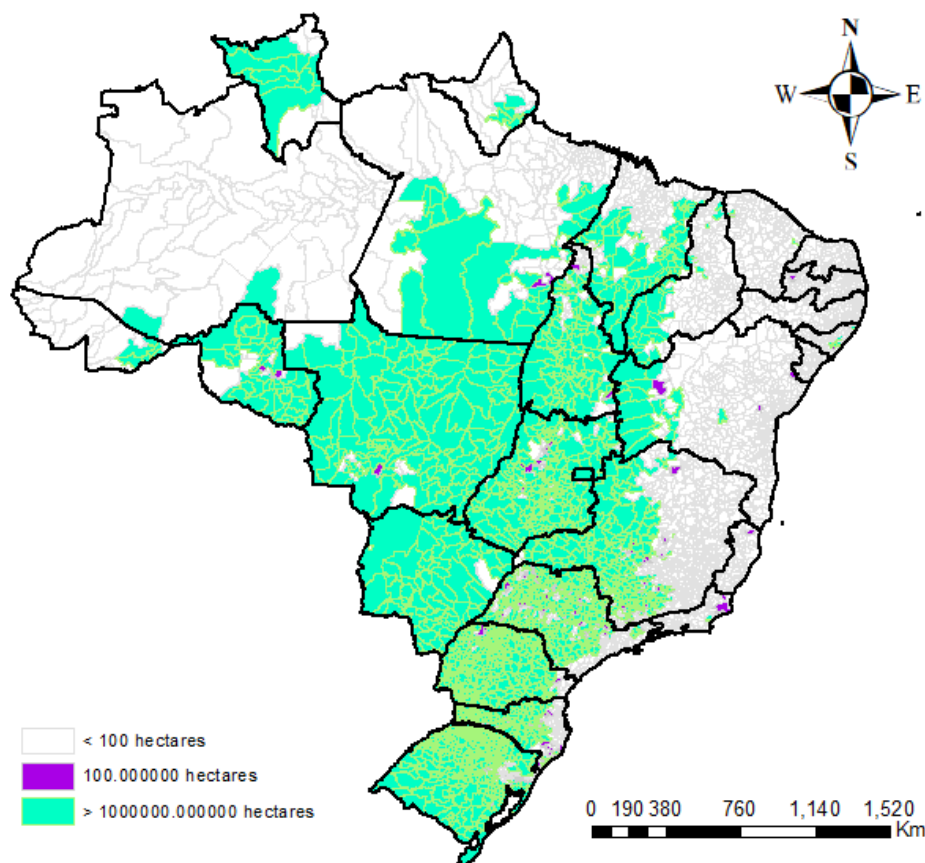


Figura 13 - Distribuição da cultura da soja (*Glycine max*) no Brasil, por área de cultivo, por município.

A utilização de genótipos mais resistentes ao estresse hídrico e ao tombamento fisiológico, são alternativas para assegurar a produção de soja nos próximos anos. Além destes, a palhada no solo e o uso de sistemas de irrigação irão amenizar os impactos na produção agrícola. Estudo realizado por Castro e Santos (2022), na bacia hidrográfica do Rio Verdão, que se localiza no município de Rio Verde, possui disponibilidade hídrica outorgável para instalação de sistemas de irrigação, cuja capacidade total de área irrigável é de 33.898 ha.

Áreas com característica adequada para o cultivo da soja, até o ano de 2020, se destacam principalmente: na América do Norte, América do Sul e na Europa (Figura 14), local em que encontram-se os países maiores produtores de soja: Brasil, Estados Unidos e Argentina. O Brasil se destaca como um dos maiores produtores de soja no mundo, com uma produção acima de 154 milhões de toneladas, produzindo mais do que os Estados Unidos, com 116 milhões de toneladas (CONAB, 2023; USDA/PSD, 2023), mesmo se enquadrando no modelo como moderadamente adequado para o cultivo de genótipos de *Glycine max*, isso justifica-se em função dos genótipos serem produzidos em outras áreas, no entanto obtiveram boa adaptabilidade no país e que com um manejo bem integrado obtiveram altas produtividades.

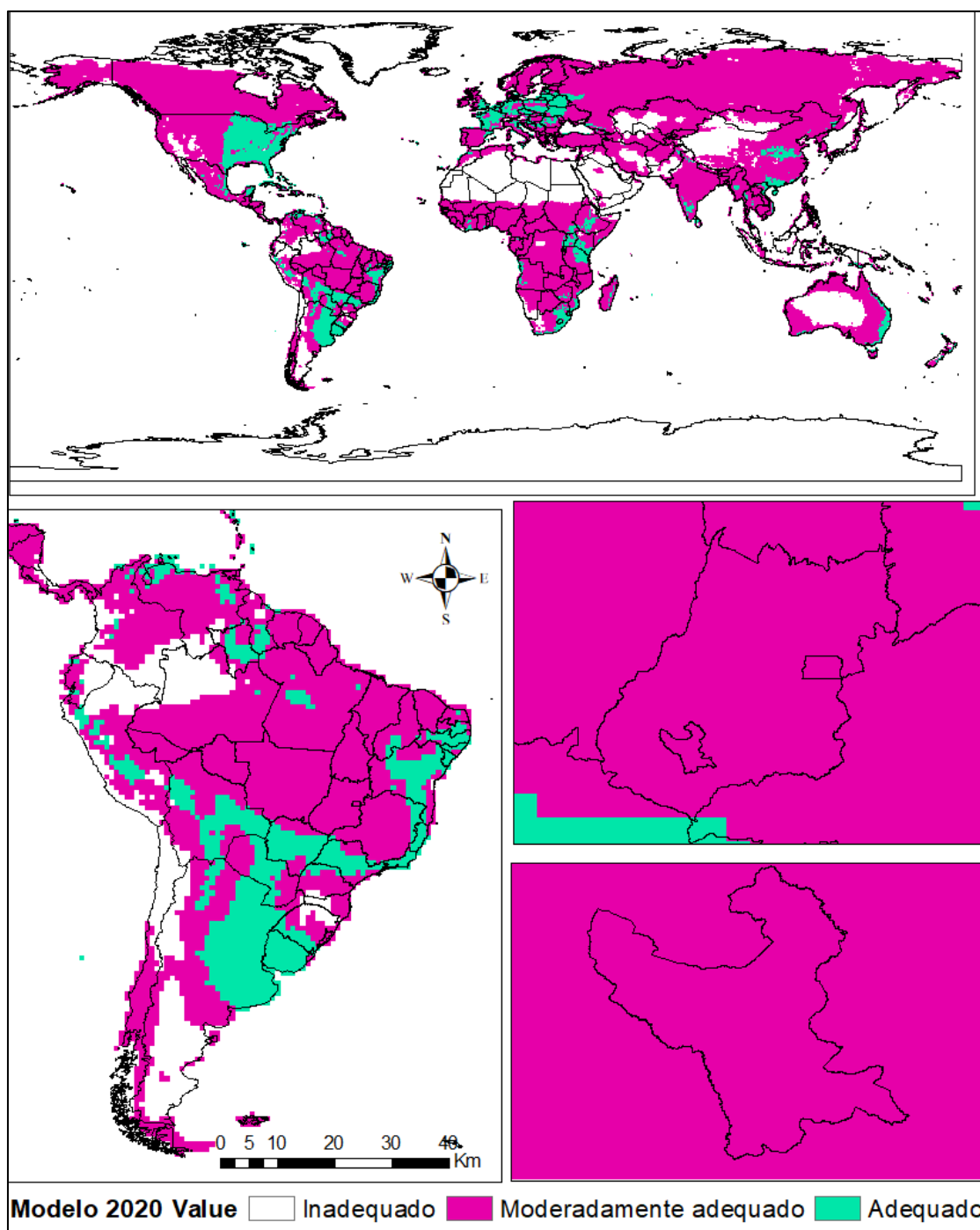


Figura 14 - Modelo de distribuição de nicho ecológico para cultivares tolerantes à seca da espécie *Glycine max*, Ano 2020.

Os estados: Mato Grosso do Sul, São Paulo, Paraná, Rio Grande do Sul, Bahia, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Minas Gerais, Espírito Santo e Rio de Janeiro possuem regiões destacadas em verde que se encaixam como adequadas para o cultivo de soja (Figura 13). Algumas manchas verdes também são visíveis em pequenas proporções no estado do Piauí (PI), Pará (PA) e Roraima (RR).

O estado de Goiás e o município de Rio Verde possuem área moderadamente adequada para o cultivo da soja, estando próximo das áreas adequadas dos estados de MS e SP. Os estados: Mato Grosso, Paraná, Rio Grande do Sul e Goiás se destacam como os maiores produtores do grãos no país. A produção de soja em Goiás é de 17.734,9 milhões de toneladas (CONAB, 2023). Com uma produção total de 38,0 milhões de toneladas, Mato Grosso lidera como o principal produtor, registrando um aumento de 7,6% no ano. Analisando os municípios, os maiores produtores foram Sorriso (MT) com 2,1 milhões de toneladas, Rio Verde (GO) com 1,64 milhões de toneladas e Formosa do Rio Preto (BA) com 1,58 milhões de toneladas (IBGE, 2022).

No modelo de distribuição de nicho ecológico para 2050 há uma mudança no comportamento de áreas, que antes eram consideradas adequadas, se tornando moderadamente adequadas no mundo todo. No Brasil, os estados: Roraima, Pará e Piauí já não possuem mais áreas adequadas, tornando-se moderadamente adequadas (Figura 15). Os estados de Mato Grosso do Sul, Paraná, São Paulo e Rio Grande do Sul ainda possuem áreas consideradas adequadas, porém com uma menor proporção, o mesmo ocorre para alguns estados da região nordeste.

O estado de Goiás preserva-se como moderadamente adequado para o ano de 2050 (Figura 15). Estados da região sul do Brasil possuem características de adequado a moderadamente adequados, por serem regiões com clima ameno, cujo elevação da temperatura irá interferir de forma menos intensa. O aumento da temperatura pode trazer benefícios para algumas regiões de clima mais frio, reduzindo os impactos negativos na produtividade das culturas ou até mesmo favorecendo-as. Em contrapartida, as regiões mais quentes enfrentarão as maiores perdas, como destacado por Holzkämper (2020), Qian et al. (2019) e Zimmermann et al. (2017). Assim, é necessário realizar estudos regionalizados para uma compreensão mais aprofundada das realidades específicas de cada localidade.

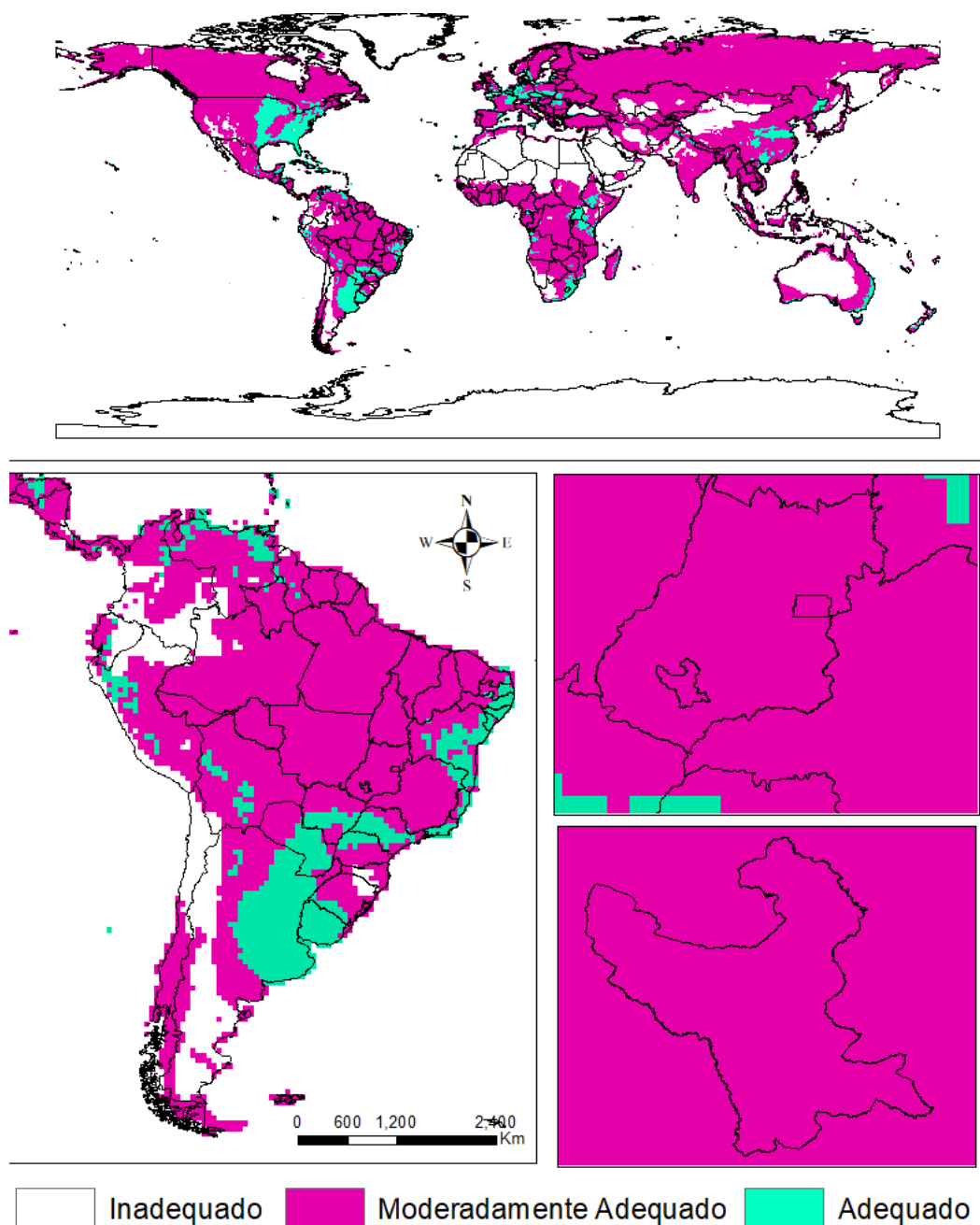


Figura 15 - Modelo de distribuição de nicho ecológico para cultivares tolerantes à seca da espécie *Glycine max*, Ano 2050.

Em 2080, haverá uma redução ainda maior das áreas adequadas. No Brasil, os estados do nordeste prevalecerão com classificação de moderadamente adequadas em áreas que antes eram adequadas ao cultivo de soja. Nos estados: Amazonas, Pará, Mato Grosso, Tocantins, Piauí, Bahia, Pernambuco e Rio Grande do Sul, começam a surgir manchas em condições inadequadas, inviabilizando o cultivo de soja, na região.

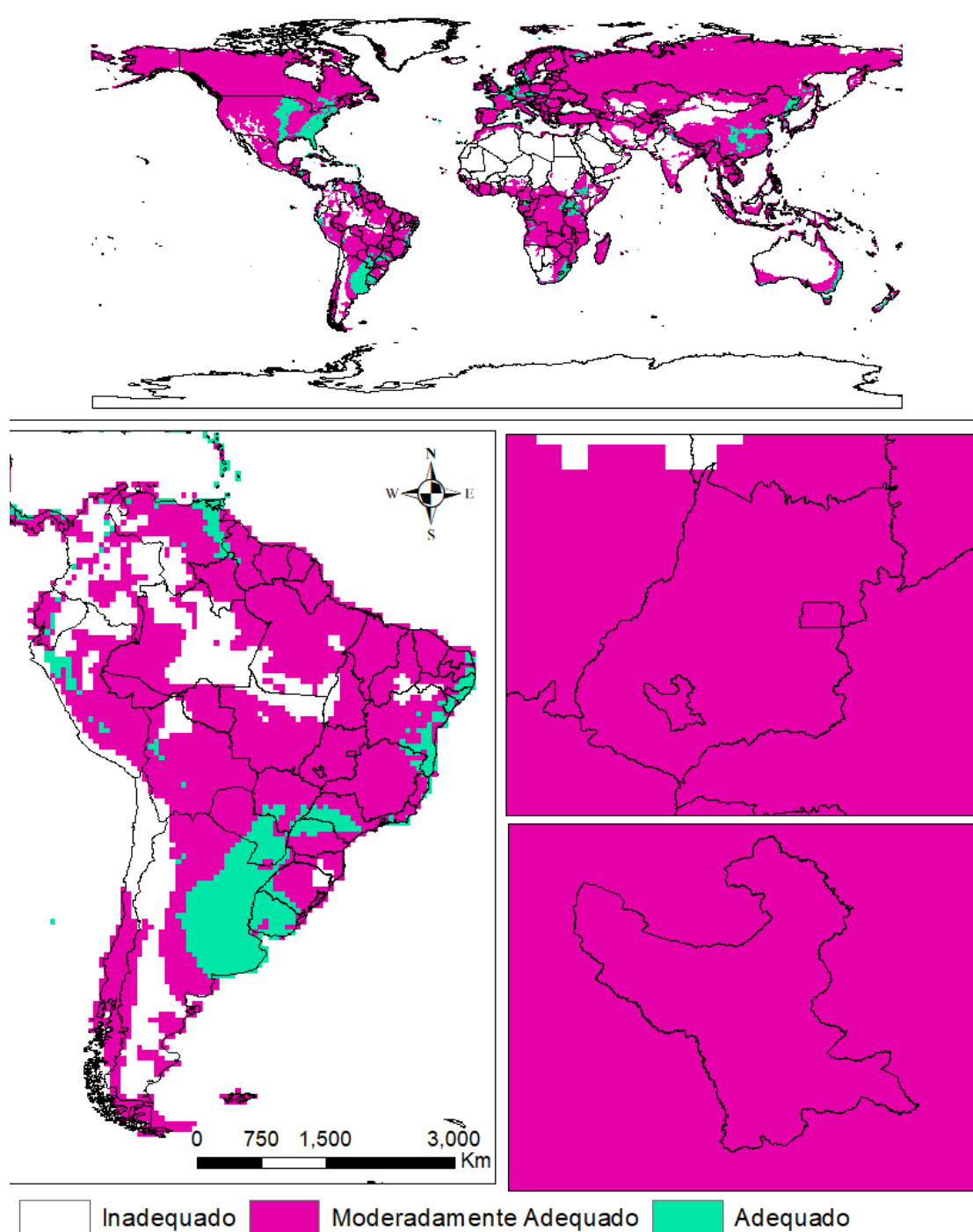


Figura 16 - Modelo de distribuição de nicho ecológico para cultivares tolerantes à seca da espécie *Glycine max*, Ano 2080.

O estado de Goiás ainda continuará como moderadamente adequado no ano de 2080, assim como a cidade de Rio Verde (Figura 16). Este cenário já foi evidenciado em estudos realizados por Centurion e Ghini (2008), que apontavam que as alterações previstas nas temperaturas e na precipitação até o ano de 2080 tenham um impacto no período de molhamento foliar, um fator determinante para a infecção do patógeno, em muitas doenças da soja.

As mudanças em cada elemento climático de forma isolada, a interação entre diversos fatores climáticos, a variabilidade genética presente em vários patógenos associados à cultura da soja e a intervenção humana nos sistemas agrícolas contribuem, para a criação de um sistema altamente complexo.

A mudança de áreas moderadamente adequadas para inadequada aumentou consideravelmente, conforme o modelo de distribuição de nicho ecológico, para as cultivares de soja tolerantes à seca, para o ano de 2100 (Figura 17). As regiões: Norte, Nordeste e Centro-Oeste serão as áreas mais afetadas para o cultivo de soja, com grandes áreas inadequadas.

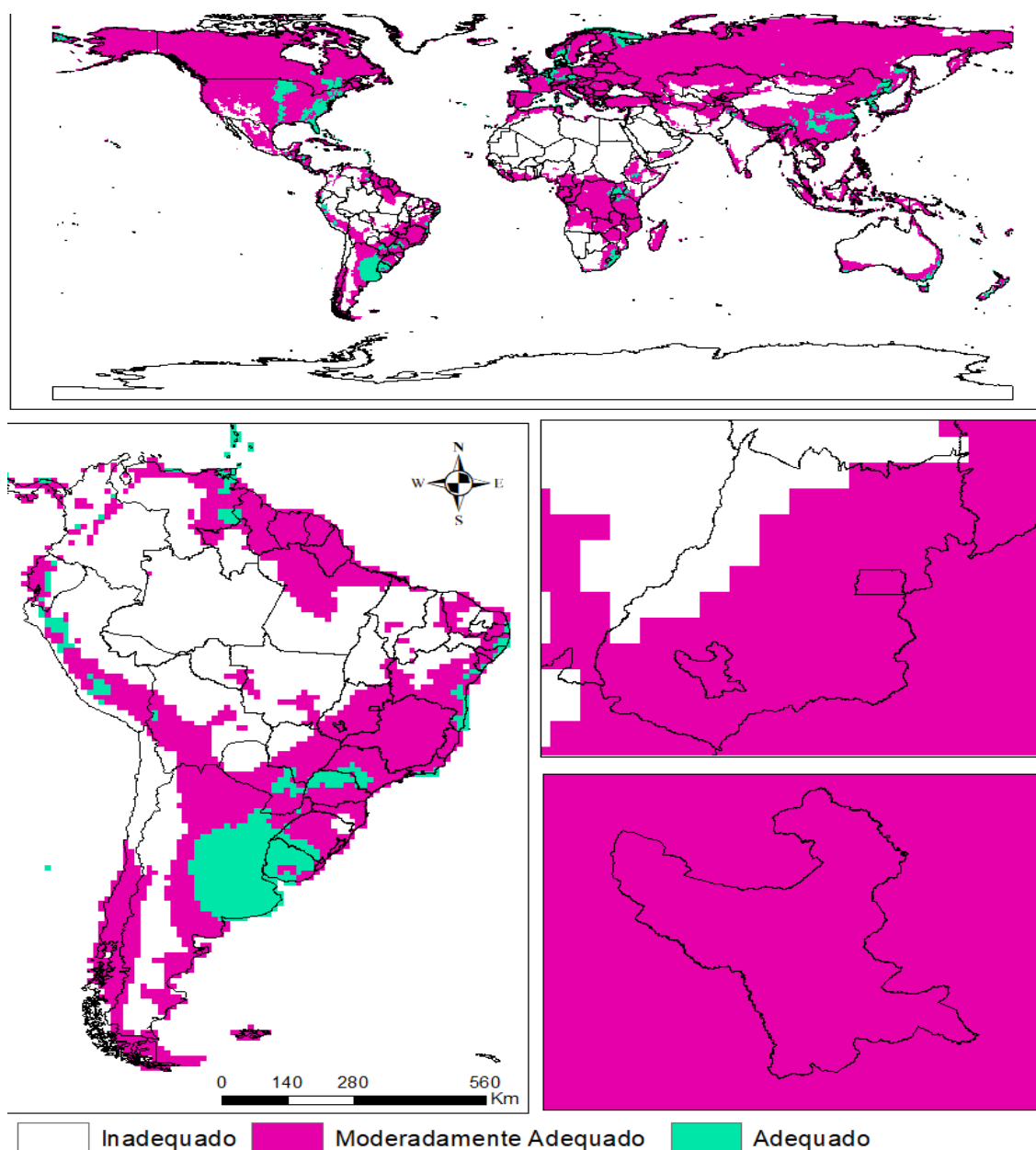


Figura 17 - Modelo de distribuição de nicho ecológico para cultivares tolerantes à seca da espécie *Glycine max*, Ano 2100.

Embora o estado de Goiás comece a surgir áreas potencialmente inadequadas, o município de Rio Verde ainda se mantém como moderadamente adequado. Estas transformações exercem impactos diretos sobre a agricultura e as áreas florestais do Brasil. Estudos conduzidos por Nobre (2005) e Nobre et al. (2005), revelam observações acerca do comportamento dos biomas brasileiros. Utilizando os cenários do IPCC para o período de 2091-2100, no Modelo de Vegetação Potencial do CPTEC-INPE, constata-se uma desertificação em maior ou menor grau no semiárido nordestino, e uma transição para um perfil mais "savanizado" na Amazônia. Embora a avaliação precisa dessas mudanças seja desafiadora, já se vislumbra uma perda de biodiversidade devido à dificuldade de adaptação desses biomas às mudanças climáticas projetadas para as próximas décadas (MEDLYN; MCMURTRIE, 2005). O mesmo é confirmado em um *report*, por Masson-Delmotte (2018), que apontam as consequências das mudanças climáticas globais e que afetam o Brasil, causando: elevação da temperatura global, alteração no volume e na frequência de chuvas, neste documento, através de um conjunto de modelos o mesmo estipulou que a temperatura média global irá aquecer até 1.5 °C até o ano de 2100.

As projeções das mudanças climáticas nos próximos anos terão impactos diretos na agricultura, potencialmente ameaçando a segurança alimentar global. Esse cenário tem sido objeto de considerável atenção por parte de pesquisadores recentemente (DAWSON et al., 2016; HASEGAWA et al., 2018; MOLOTOKS et al., 2020).

As áreas inadequadas ao cultivo de *Glycine max* aumentam no decorrer dos anos, em que no ano de 2020, 29,5% da área total era considerada inadequada, passando a ser de 34,7 % em 2100. Áreas que eram adequadas em 8,4% no ano de 2020 passam a ser 5,9% no ano de 2100 (Tabela 4). De acordo com Ferreira (2023), diante deste cenário de incertezas climáticas, é preciso que todas as regiões do país e do mundo estejam equipadas com informações abrangentes, dados recentes e estudos regulares acerca de elementos climáticos, aspectos culturais, características genéticas e fisiológicas. É essencial considerar, durante o processo decisório, para a seleção e desenvolvimento de culturas, os fenômenos naturais que ocorrem de maneira variada ao longo dos anos agrícolas, bem como, as alterações no comportamento dentro da área de cultivo e as cultivares aprimoradas.

Tabela 4 - Modificação das áreas potencialmente adequadas para a distribuição da soja frente às alterações climáticas (número de pixel) para os anos de: 2020, 2050, 2080 e 2100, no mundo

Pixel	EI	2020	2050	2080	2100
Inadequado	0	15358	15074	16150	18178
Moderadamente adequado	0-30	32333	33372	32838	31135
Adequado	>30	4364	3609	3067	3067
		52055	52055	52055	52380
% Área	EI	2020	2050	2080	2100
Inadequado	0	29,5	29,0	31,0	34,7
Moderadamente adequado	0-30	62,1	64,1	63,1	59,4
Adequado	>30	8,4	6,9	5,9	5,9

Adicionalmente, espera-se um aumento médio de 5% nos preços dos produtos agrícolas. A concretização dessas projeções têm o potencial de desencadear e agravar diversos desafios socioeconômicos no Brasil, incluindo a pobreza tanto em áreas rurais quanto urbanas, movimentos migratórios e a ameaça à segurança alimentar (NELSON et al., 2014). De maneira geral, as mudanças climáticas não apresentam apenas um fenômeno progressivamente influenciado pela atividade humana, mas são agora percebidas como uma situação emergencial. Essencialmente, isso envolve o aumento de emissões de gases de efeito estufa e seus precursores, vinculados ao uso, manejo e degradação da terra, resultando em um aumento de áreas que se restringem ao cultivo agrícola (IPCC, 2021). Caso ocorra um aumento no desmatamento da Amazônia e do Cerrado, as projeções indicam uma diminuição acentuada das chuvas e um aumento nas perdas de produtividade (PIRES et al., 2016). Estima-se que de forma conservadora, as perdas atinjam no mínimo 4,5 bilhões de dólares anuais até o ano de 2050, e em casos de desmatamento desenfreado, o prejuízo potencial pode chegar a 9 bilhões de dólares por ano (FLACH, 2021).

Diante disso, é fundamental implementar estratégias de adaptação às mudanças climáticas, para que agricultores e todos os componentes da cadeia produtiva do agronegócio possam atenuar os efeitos adversos previstos. Ao projetar os impactos das mudanças climáticas na agricultura, é preciso compreender primeiramente como os produtores se adaptarão e identificar os principais impulsionadores desse processo de medidas mitigatórias (MOORE; LOBELL, 2014).

O desenvolvimento de políticas públicas pode servir de parâmetro para estabelecer soluções ao enfrentamento deste cenário. As políticas públicas devem não apenas considerar a necessidade de adaptação, mas também levar em consideração a percepção e o conhecimento

que os agricultores possuem sobre o assunto de mudanças climáticas, o que consequentemente desempenha um papel decisivo em sua eficácia e sucesso.

Os agricultores que estão cientes dos impactos das mudanças climáticas em suas práticas agrícolas são mais propensos a adotarem medidas adaptativas. Isso enfatiza a importância de considerar o papel do conhecimento dos participantes ao analisar estratégias de adaptação. Portanto, iniciativas como o Plano Nacional de Adaptação, estabelecido pelo governo federal em 2016, deveriam ser precedidas por ações educativas com o objetivo de ampliar a compreensão das futuras alterações climáticas entre os agricultores (CARLOS; CUNHA; PIRES, 2019).

4 CONCLUSÕES

As projeções até o ano de 2100 evidenciam que as mudanças climáticas impactarão na agricultura, afetando a segurança alimentar, no mundo.

No Brasil, as regiões: Norte, Nordeste e Centro-Oeste, até o ano de 2100, serão as áreas mais afetadas, para o cultivo de soja, classificando-se como inadequadas ao cultivo.

Áreas inadequadas podem surgir no estado de Goiás, até o ano de 2100, entretanto o município de Rio Verde, se mantém como moderadamente adequado, sendo ainda propício ao cultivo de soja.

O desenvolvimento de políticas públicas voltados ao tema mudanças climáticas e o impacto sob agricultura também se faz necessário, assim como o desenvolvimento de cultivares mais tolerantes ao estresse hídrico e elevadas temperaturas.

A modelagem de habitats para variedades tolerantes à seca é uma ferramenta estratégica, que não apenas aprimora a compreensão ambiental, mas também, fornece informações práticas para impulsionar a eficiência agrícola e promover a resiliência das culturas, em face dos desafios climáticos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, J. R. T. de.; LINS, H. A.; SANTOS, M. G. D.; FREITAS, M. A. M. D.; SILVEIRA, L. M. D.; NUNES, G. H. D. S.; VIEIRA, P. F. D. M. J. Variáveis ambientais na interação G x A em soja no semiárido. **Revista Ciência Agronômica**, v.54, p.e20218211, 2023.

ARAÚJO, F. L. C. F. de. **Previsão de preço do milho com a aplicação de um modelo autorregressivo**. 2023. TCC (trabalho de conclusão de curso de agronomia) Universidade Federal do Ceará. Disponível em acesso https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/74652/3/2023_tcc_flcfaraujo.pdf em 26 de outubro de 2023.

BRITO, D.; SILVA, G. N. da; LEÃO, A. P. da S. Estratégias de logísticas para o setor exportador de soja no brasil **RECIMA21-Revista Científica Multidisciplinar-ISSN 2675-6218**, v.4, n.7, p.e473595-e473595, 2023.

CARLOS, S. de M.; CUNHA, D. A. Da.; PIRES, M. V. Conhecimento sobre mudanças climáticas implica em adaptação? Análise de agricultores do Nordeste brasileiro. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v.57, p.455-471, 2019.

CASTRO, P. A. L. de; SANTOS, G. O. Potencial da área irrigável da bacia hidrográfica do rio Verdão, região sudoeste do estado de Goiás. **IRRIGA**, v.27, n.2, p.328-342, 2022.

CENTURION, M. A. P da C.; GHINI, R. **Impacto potencial das mudanças climáticas sobre as doenças e o desenvolvimento da soja no Brasil**. Mudanças climáticas – impactos sobre doenças de plantas no Brasil, 2008.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento de safra brasileiro – grãos: Levantamento de 06/2023 - safra 2022, 2023.

CÔRTEZ, F. da S. **Modelo de predição da ocorrência de ferrugem asiática na cultura da soja a partir de variáveis climáticas e clusterização**. 2022.

CRISPIM, L. C. **A dinâmica geoeconômica da soja no município de Uruçuí PI**. 2021. TCC (trabalho de conclusão de curso de geografia) - Universidade Federal de Santa Catarina. Centro de Filosofia e Ciências Humanas. Geografia. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/224115> acesso em 26 de outubro de 2023.

DAWSON, T. P.; PERRYMAN, A. H.; OSBORNE, T. M. Modelling impacts of climate change on global food security. **Climatic Change**, Dordrecht, v.134, n.3, p.429–440, 2016.

DELGADO, Á. R. S.; VENTURA, S. D. Leituras em Agromatemática. **Editora Appris**, 2020.

FERNANDES, A. B. B. **Fatores ambientais que afetam o uso do habitat por duas espécies de psitacídeos ameaçados na Mata Atlântica nordestina**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

FERREIRA, J. V. **Análise da precipitação das regiões edafoclimáticas (RECs) brasileiras para aplicação de defensivos na cultura da soja** (*Glycine max* (L.) Merrill). Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal de Santa Catarina, 2023.

FLACH, R. **Conserving the Cerrado and Amazon biomes of Brazil protects the soy economy from damaging warming**. Elsevier World Development, 146, 9 Jul. 2021, p.16.

GBIF.org (22 November 2023) GBIF Occurrence Download
<https://doi.org/10.15468/dl.5vedvv>

HASEGAWA, T.; FUJIMORI, S.; HAVLIK, P.; VALIN, H.; BODIRSKY, J. C. D.; FELLMANN, T.; KYLE, P.; KOOPMAN, J. F. L.; CAMPEN, H. L.; OCHI, Y. Risk of increased food insecurity under stringent global climate change mitigation policy. **Nature Climate Change**, London, v.8, n.8, p.699-703, 2018.

HOLZKÄMPER, A. Varietal adaptations matter for agricultural water use – a simulation study on grain maize in Western Switzerland. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.237, [art.] 106202, 2020.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2021: The Physical Science Basis**. Cambridge: Cambridge University Press, 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Agropecuário - 2022**. Disponível em: < <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/37894-em-2022-sorriso-mt-manteve-a-lideranca-na-producao-agricola> />. Acesso: 24 nov 2023.

KRITICOS, D. J.; MAYWALD, G. F.; YONOW, T.; ZURCHER, E. J.; HERRMANN, N. I.; SUTHERST, R. **Exploring the effects of climate on plants, animals and diseases**. **CLIMEX Version** v.4, p.184, 2015.

LOPES SOBRINHO, O. P.; SANTOS, L. N. S.; SANTOS, G. O.; CUNHA, F. N.; SOARES, F. A. L.; TEIXEIRA, M. B. Balanço hídrico climatológico mensal e classificação climática de Köppen e Thornthwaite para o município de Rio Verde, Goiás. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 27, p. 19-33, 2020.

MASSON-DELMOTTE, V. (ed.). **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]: IPCC, 2018.

MEDLYN, B. E.; MCMURTRIE, R. E. – Effects of CO² on Plants at Different Timescales. In: Ehleringer, J. R., Cerling, T. E. e Dearing, D. M. (ed.) – *A History of Atmospheric CO² and Its Effects on Plants, Animals, and Ecosystems*. **Springer**. New York. USA. 2005. 530 pp.

MEEHL, G. A.; CHUNG, C. T. Y.; ARBLASTER, J. M.; HOLLAND, M. M.; BITZ, C. M. Tropical decadal variability and the rate of Arctic sea ice decrease. **Geophysical Research Letters**. 2018. doi:10.1029/2018gl079989.

MOLOTOKS, A.; SMITH, P.; DAWSON, T. P. Impacts of land use, population, and climate change on global food security. **Food and Energy Security**, Malden, v.10, n.1, [art.] e261, 2020.

MOORE, F. C.; LOBELL, D. B. Adaptation potential of European agriculture in response to climate change. **Nature Climate Change**, v.4, p.610-614, 2014.

MORAIS, G. R. de. Contribuição de um modelo sustentável de otimização e de simulação em rede petri p-temporizada nas estratégias de expansão da rede intermodal de transporte de soja do estado do Mato Grosso. 2023.

NASCIMENTO NETO, O. G. **Operações agrícolas na região sudoeste de Goiás na safra de 2021/2022. estudo de caso na fazenda Santa Fé.** 2023. TCC (trabalho de conclusão de curso de agronomia). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Rio Verde, Goiás.

NELSON, G. C.; VALIN, H.; SANDS, R. D.; HAVLÍK, P.; AHAMMAD, H.; DERYNG, D.; ELLIOTT, J.; FUJIMORI, S.; HASEGAWA, T.; HEYHOE, E.; KYLE, P.; LAMPE, M. V.; LOTZE-CAMPEN, H.; D'CROZ, D. M.; MEIJL, H. V.; MENSBRUGGHE, D. V. D.; MÜLLER, C.; POPP, A.; ROBERTSON, R.; ROBINSON, S.; SCHMID, E.; SCMITZ, C.; TABEAU, A.; WILLENBOCKEL, D. Climate change effects on agriculture: economic responses to biophysical shocks. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v.111, n.9, p.3274-3279, 2014.

NOBRE, C. A. Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima. In: Cadernos Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. Nº 3. Mudança do Clima. Vol I. Brasília: Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República, Secretaria de Comunicação do Governo e Gestão Estratégica. 2005. 250 p.

NOBRE, C. A.; ASSAD, E. D.; OYAMA, M. D. Mudança Ambiental no Brasil – O impacto do aquecimento global nos ecossistemas da Amazônia e na agricultura. In: Scientific American Brasil. Nº 12. Set-2005.

PIRES, G. F.; ABRAHÇAO, G. M.; BRUMATTI, L. M.; OLIVEIRA, L. J. C.; COSTA, M. H.; LIDDICOAT, S.; KATO, E.; LADLE, R. J.. Increased climate risk in Brazilian double cropping agriculture. **Elsevier**, p.286-298, 2016.

QIAN, B. ZHANG, X.; SMITH, W.; GRANT, B.; JING, Q.; CANNON, A. J.; NEILSEN, D.; MCKONKEY, B.; LI, G.; BONSAI, B. Climate change impacts on Canadian yields of spring wheat, canola and maize for global warming levels of 1.5 °C, 2.0 °C, 2.5 °C and 3.0 °C. **Environmental Research Letters**, v.14, n.7, [art.] 074005, 2019.

REIS, L. C. dos. **Produtividade da soja sob diferentes cenários de variabilidade climática na região do MATOPIBA, Brasil.** 2020. Tese (Doutorado em Ciências Climáticas). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Disponível em: https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/30172/1/Produtividadesojadiferentes_Reis_2020.pdf acesso em 26 de outubro de 2023.

SOUZA, T. S. **Oportunidades e desafios da transição agroecológica como agente de adaptação e resiliência às mudanças climáticas no Cerrado.** 2021. 93p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) - Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo. Lorena, 2021.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE - Foreign Agricultural Service, Production, Supply, and Distribution, data survey: (06/2023). Soybean production in the United States, 2023.

ZIMMERMANN, A. WEBBER, H.; ZHAO, G.; EWERT, F.; KROS, J.; WOLF, J.; BRITZ, W.; VRIES, Q. Climate change impacts on crop yields, land use and environment in response to crop sowing dates and thermal time requirements. **Agricultural Systems**, Baking, v.157, p.81-92, 2017.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados preliminares, verificados neste estudo, torna-se evidente a imperatividade de desenvolver cultivares com crescente tolerância à seca. Além disso, é fundamental adotar estratégias que reforcem essa resistência, tais como: a implementação de sistemas de irrigação, práticas de manejo do solo apropriadas e a adoção de técnicas; como o plantio direto. Estas medidas oferecem suporte essencial às plantas, fortalecendo sua capacidade de enfrentar condições de seca. Além disso, o conhecimento e a conscientização dos produtores, é essencial, acerca de assuntos referentes às mudanças climáticas no mundo e no Brasil.