Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

Aquecimento global - impacto na produtividade da cultura da soja e ações estratégicas de manejo para sua minimização em diferentes regiões produtoras do Sul do Brasil

Alexandre do Rio

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de concentração: Engenharia de Sistemas Agrícolas

Piracicaba
2014

Alexandre do Rio
Engenheiro Agrônomo

Aquecimento global - impacto na produtividade da cultura da soja e ações estratégicas de manejo para sua minimização em diferentes regiões produtoras do Sul do Brasil

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **PAULO CESAR SENTELHAS**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de concentração: Engenharia de Sistemas Agrícolas

Piracicaba
2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP

Rio, Alexandre do
Aquecimento global - impacto na produtividade da cultura da soja e ações estratégicas de manejo para sua minimização em diferentes regiões produtoras do Sul do Brasil / Alexandre do Rio. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2014.
127 p: il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2014.

1. Glycine Max 2. CSM-CropGro-Soybean 3. Risco climático 4. Épocas de semeadura 5. Mudanças climáticas I. Título

CDD 633.34
R585a

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte - O autor”

AGRADECIMENTOS

À Deus, criador de todas as coisas.

Aos meus pais, Alcides e Eliane, e a minha esposa e filha, Luciana e Maria Julia, pelo incondicional amor, apoio e incentivo nesta caminhada, e a suas orações, que me fortaleceram.

Ao Prof. Dr. Paulo Cesar Sentelhas, pelo acompanhamento e orientação neste trabalho, e pela amizade e conselhos que me edificaram profissionalmente.

Ao Dr. José Renato Bouças Farias, pelas realizações que vivemos juntos nesta caminhada, trabalho, amizade, e oportunidade de conhecer e estudar a ciência da agrometeorologia.

Aos amigos da Embrapa Soja, em especial ao Rubson Natal Ribeiro Sibaldelli, pelo acolhimento, amizade e companheirismo durante o período do meu estágio, e ao Rodrigo Cornacini Ferreira pela colaboração e sugestões neste trabalho.

A Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, e seus colaboradores, pela acolhida e oportunidade de realização deste mestrado no Programa de Pós Graduação em Engenharia de Sistemas Agrícolas.

Aos colegas da ESALQ, em especial aos da “Cúpula” pela amizade, motivação, e a convivência harmoniosa que contribuíram muito aos meus estudos e estadia em Piracicaba/SP.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudo concedida.

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR), e ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) por cederem os dados necessários para o desenvolvimento deste trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO....7
ABSTRACT....9
1 INTRODUÇÃO....11
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA....13
2.1 A importância da cultura da soja....13
2.2 Botânica e ecofisiologia da soja....15
2.3 Valor de cultivo e uso e indicação de cultivares de soja....17
2.4 Clima e produção agrícola....18
2.4.1 Radiação Solar....19
2.4.2 Temperatura e fotoperíodo....20
2.4.3 Disponibilidade hídrica....22
2.5 Mudanças climáticas e cenários futuros....24
2.5.1 Mudanças climáticas e seus impactos na agricultura....28
2.6 Modelos de simulação climática....30
2.7 O sistema de Suporte à Decisão para Transferência Agrotecnologica....34
2.7.1 O modelo CSM-CropGro-Soybean....35
3 MATERIAL E MÉTODOS....39
3.1 Região de estudo....39
3.2 Levantamento dos dados meteorológicos....39
3.3 Cenários climáticos futuros....41
3.4 CSM-CropGro-Soybean / DSSAT – Modelo de simulação da cultura da soja....43
3.5 Definição dos perfis de solo....46
3.6 Cultivares....47
3.7 Análise de dados....48
3.8 Espacialização dos dados de produtividade da soja....50
3.9 Estratégias para minimização dos impactos das mudanças climáticas....50
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES....51
4.1 Dados climáticos....51
4.2 Produtividades potencial e atingível estimadas para as condições climáticas atuais e futuras....58
4.3 Espacialização da produtividade da cultura da soja na região Sul do Brasil....73

4.3.1 Produtividade potencial 73
4.3.2 Produtividade atingível 76
4.3.3 Produtividade relativa 78
4.4 Risco climático para o cultivo da soja na região Sul do Brasil 82
4.5 Estratégias de manejo da época de semeadura para minimização dos impactos das mudanças climáticas 86
5 CONCLUSÕES 113
REFERÊNCIAS 115

RESUMO

Aquecimento global - impacto na produtividade da cultura da soja e ações estratégicas de manejo para sua minimização em diferentes regiões produtoras do Sul do Brasil

O complexo soja tem um papel importante no desenvolvimento da economia brasileira. Cultivada especialmente nas regiões Centro-Oeste e Sul do país, a soja se firmou como um dos produtos mais destacados da agricultura nacional e na balança comercial. Assim como as demais culturas agrícolas, a soja depende de boas condições climáticas para expressar o seu potencial produtivo. Desse modo, o clima é um dos principais fatores de risco para o sucesso da cultura, especialmente quando se consideram os cenários futuros de mudanças climáticas. Desta forma, pode-se lançar mão de estratégias de manejo da cultura de modo a minimizar os riscos associados ao aquecimento global, como, por exemplo, alterar as datas de semeadura da soja, buscando-se períodos que possam amenizar os impactos proporcionados pela elevação das temperaturas. Com base nisso, o objetivo deste trabalho foi simular o desenvolvimento e a produtividade da cultura da soja nas condições climáticas atuais e futuras e simular diferentes decêndios para a semeadura da cultura, buscando-se determinar as épocas preferenciais em treze regiões produtoras do sul do Brasil. Para tanto, utilizou-se o modelo de simulação de cultura CSM-CropGro-Soybean para simular o desempenho da cultura da soja nas condições climáticas atuais e futuras. Os cenários climáticos, A2 e B2 do IPCC, foram gerados com base nos acréscimos de temperaturas gerados pelos modelos climáticos ETA e PRECIS para dois períodos: D25, entre 2013 e 2043; e D55, entre 2041 e 2071, em treze diferentes localidades produtoras de soja da região Sul do Brasil. A partir dos valores de produtividades potencial e atingível de soja, foram definidos quatro níveis de risco climático, sendo eles: baixo risco; risco moderado; risco alto; e risco muito alto. Também foram simulados quatro decêndios de semedura de soja, dois antecipados e dois tardios em relação ao período atual recomendado. O modelo CSM-CropGro-Soybean foi capaz de simular os efeitos dos diferentes tipos de solo e cultivares de soja nas produtividades potencial e atingível, considerando-se as séries climáticas atuais e futuras. Foi possível observar que o aquecimento global deverá levar a reduções de produtividade da cultura da soja, com as menores perdas ocorrendo nas localidades de Castro, PR, e Santa Maria, RS, e as maiores nas localidades de Palotina, PR, e Uruguaiana, RS. Observou-se que as localidades de Campo Mourão e Cascavel, no estado do Paraná, são as de menores riscos climáticos para o cultivo da soja, enquanto que nas localidades Bagé e Pelotas, RS, ocorrem os maiores riscos climáticos. Ao atrasar ou antecipar a semeadura em relação à época atualmente recomendada, verifica-se diferenças nas produtividades, sendo essas variáveis conforme a localidade estudada.

Palavras-chave: *Glycine Max*; CSM-CropGro-Soybean; Risco climático; Épocas de semeadura; Mudanças climáticas

ABSTRACT

Global warming - impact on soybean yield and strategic management actions to minimize it in different producing regions of southern Brazil

The soybean complex has an important role in the development of the Brazilian economy. It is especially cultivated in areas like Midwest and South of the country where the crop is established as one of the most important product of national agriculture and the trade balance. Like other crops, soybean depends on good weather to express all its productive potential, thus the climatic condition becomes one of the main risk factors for this crop failure, especially when climate change is considered. Considering that, crop management strategies can be adopted to minimize the climatic risks in the changing climate by anticipating or delaying the soybean sowing dates in relation to the recommended period. Based on that, the objective of this study was to simulate the development and yield of soybean crop in the current and future climate conditions and simulate different sowing dates in order to determine the preferred ones thirteen producing regions of southern Brazil. For that, the crop simulation model CSM-CROPGRO-Soybean was used to estimate soybean yield in the current and future climate scenarios, A2 and B2, with increasing temperatures generated by the climate models ETA and PRECIS for two distinct periods: D25, between 2013 and 2043; and D55, between 2041 and 2071, in thirteen different locations in southern Brazil. Based on the potential and attainable soybean yields, four levels of climatic risk were stablished, being: low risk; moderate risk; high risk; and very high risk. In order to evaluate the management strategies for mitigate the impacts of global warming on crop yield, four new sowing dates were simulated, being two before the recommended sowing period and two after that. The CSM-CROPGRO-Soybean model was able to simulate the effects of different soil types and soybean cultivars, for potential and attainable yields, taking into account current and future climate data. It was possible to observe that a reduction in the soybean yield will occur in the future climate scenarios, with the lowest impacts in locations of Castro, PR, and Santa Maria, RS, and the greatest ones in Palotina, PR, and Uruguaiana, RS. Regarding the climatic risk for soybean crop, Campo Mourão and Cascavel, in the PR, were the locations with the lowest values, whereas in Bagé and Pelotas, RS, the highest values were observed. When under global warming, the delaying or advancing of the sowing dates in relation to the present ones, recommended by the government, can result in soybean yield changes, which vary across the locations studied in southern Brazil.

Keywords: *Glycine Max*; CSM-CropGro-Soybean; Climatic risk; Sowing dates; Climate change

1 INTRODUÇÃO

A atmosfera vem se aquecendo ao longo do último século e é bem provável que as atividades antropogênicas tenham sido a principal causa para tanto. O aquecimento global é inequívoco, e desde a década de 1950, muitas das mudanças observadas são sem precedentes ao longo dos últimos anos (INTERGOVERNMENTAL PAINEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC, 2013). Isto vem se comprovando cada vez mais em decorrência de um maior número de observações de melhor qualidade, de uma melhor compreensão dos processos atmosféricos e do uso de modelos climáticos mais sofisticados.

Existem evidências de que a frequência de eventos extremos, como secas, enchentes, ondas de calor e de frio, furacões e tempestades tem aumentado e afetado diferentes partes do planeta, produzindo significativas perdas econômicas (IPCC, 2007a). Pode-se mencionar, no Brasil, a seca da Amazônia em 2005 e as secas no Sul do Brasil em 2004, 2005 e, mais recentemente em 2011. São, ainda, relatados outros impactos relacionados, como alterações na biodiversidade, aumento no nível do mar, redução da produção agrícola e da geração de energia hidrelétrica (TOMASELLA et al., 2010; SANCHES et al., 2013).

Com o aumento da temperatura global previsto para o presente século, os impactos associados às mudanças climáticas serão sentidos em todo o mundo e, provavelmente, terão implicações profundas para a população humana. Portanto, torna-se prioritário aumentar o conhecimento sobre os possíveis cenários climáticos futuros e avaliar os riscos dessas mudanças climáticas a nível regional para as principais atividades econômicas. Essa informação é de fundamental importância para servir de subsídio aos sistemas de tomada de decisão na formulação de estratégias de mitigação e planejamento de adaptação (MARENGO et al., 2011).

Atualmente, a ciência já avançou bastante na modelagem do clima, definindo níveis de incerteza para as projeções climáticas e melhorando a resolução dos resultados dos modelos, permitindo uma melhor diferenciação regional. Porém, a avaliação dos impactos desses cenários sobre a agricultura e a definição, a partir deles, de ações de mitigação e adaptação ainda requer muita investigação (SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS AGRÍCOLAS FUTUROS - SCAF, 2013).

Dessa forma, para se avaliar as estratégias mais adequadas de manejo das culturas para se enfrentar as possíveis mudanças do clima pode-se lançar mão dos modelos de simulação de culturas, os quais são dinâmicos e funcionais, descrevendo as mudanças diárias nas variáveis da cultura em decorrência da interação desta com o ambiente, considerando-se os principais processos morfofisiológicos que nela ocorrem (DALLACORT et al., 2006).

Atualmente, são inúmeros os modelos de simulação de culturas disponíveis com diferentes níveis de complexidade e de interação entre a planta e o ambiente. Dentre eles pode-se citar o *Decision Support System for Agrotechnology Transfer* – DSSAT (JONES et al., 2003), sistema computacional que inclui um conjunto de modelos de crescimento de culturas, constituindo-se em uma ferramenta para obtenção de informações que auxiliem no planejamento e no manejo das culturas agrícolas sob as mais variadas condições de clima, solo e manejo.

Face ao exposto, a hipótese do presente trabalho é de que a caracterização e a quantificação dos impactos decorrentes das mudanças climáticas na cultura da soja na região sul do Brasil podem ser estabelecidas por meio do uso de modelos de simulação dessa cultura, e que a partir disto, pode-se avaliar alternativas de manejo agrícola capazes de permitir maior adaptação dessa cultura aos cenários projetados para o clima futuro a nível regional. Para tanto, o presente estudo teve como objetivos:

- Simular o desenvolvimento e a produtividade da cultura da soja nas condições climáticas atuais e para os diferentes cenários climáticos futuros projetados para a região sul do Brasil, avaliando-se os impactos decorrentes dessas mudanças;
- Prospectar alternativas de manejo agrícola da cultura da soja, mais especificamente a época de semeadura, que sejam mais eficientes para a minimização dos impactos dos cenários futuros do clima.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A importância da cultura da soja

Nas últimas décadas, o agronegócio brasileiro tem ganhado cada vez mais relevância para a economia nacional, apresentando significativos ganhos de produtividade. Atualmente, o Brasil é um país de destaque na produção de grãos, carnes e biocombustíveis. A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma das mais importantes culturas na economia mundial, por sua produção de alimento e geração de divisas. Seus grãos são muito usados pela agroindústria (produção de óleo vegetal e rações para alimentação animal), indústria química e de alimentos. Recentemente, vem crescendo também o uso desta cultura como fonte alternativa de energia, sendo utilizada na produção de biodiesel (COSTA NETO; ROSSI, 2000; EMBRAPA, 2013, GOMES, 2014).

A soja apresenta como centro de origem e domesticação o nordeste da Ásia (China e regiões adjacentes) (CHUNG; SINGH, 2008) e a sua disseminação do Oriente para o Ocidente ocorreu por meio das navegações. No Brasil, o primeiro relato do cultivo de soja é de 1882, no estado da Bahia (BLACK, 2000). Em seguida, foi levada por imigrantes japoneses para São Paulo, e somente, em 1914, a soja foi introduzida no estado do Rio Grande do Sul, sendo este, por fim, o lugar onde as variedades trazidas dos Estados Unidos melhor se adaptaram às condições edafoclimáticas, principalmente em relação ao fotoperíodo (BONETTI, 1981).

A implantação de programas de melhoramento de soja no Brasil possibilitou o avanço da cultura para as regiões de baixas latitudes, por meio do desenvolvimento de cultivares mais adaptadas, por meio da incorporação de genes que atrasam o florescimento mesmo em condições de fotoperíodo indutor, conferindo a característica de período juvenil longo (KIIHL; GARCIA, 1989). Os trabalhos desses programas de melhoramento, nesses últimos anos, vêm desenvolvendo novas cultivares com alta estabilidade e adaptabilidade, as quais apresentam caracteres agronômicos desejáveis e alta produtividade de grãos para as regiões produtoras brasileiras (MARQUES, 2010; FREITAS, 2011; ROLLA et al., 2013).

O crescimento da cultura da soja no país também esteve associado aos avanços científicos e à disponibilização de tecnologias ao setor produtivo. A

mecanização e a criação de cultivares altamente produtivas adaptadas às diversas regiões, o desenvolvimento de pacotes tecnológicos relacionados ao manejo de solos, ao manejo de adubação e calagem e ao manejo de pragas e doenças, a maior absorção de tecnologia pelos produtores agrícolas, além da identificação e solução dos principais fatores responsáveis por perdas no processo de colheita, são fatores promotores desse avanço (FREITAS, 2011; BREVILIERI, 2012; GOMES, 2014).

Há também, fatores que contribuíram para o aumento no consumo mundial de soja, dentre eles o crescente poder aquisitivo da população nos países em desenvolvimento, o que vem provocando uma mudança no hábito alimentar. Assim, observa-se cada vez mais a troca de cereais por carne bovina, suína e de frango. Tudo isso, resulta numa maior demanda por soja, ingrediente que compõe 70% das rações para esses animais (VENCATO et al., 2010). Não menos significativo é o crescente uso de biocombustíveis fabricados a partir do grão, resultado de um ascendente interesse mundial na produção e no consumo de energia renovável e limpa (COSTA NETO; ROSSI, 2000).

O cenário otimista de um país que tem para onde expandir e aumentar a sua produção agrícola projeta um salto produtivo para a cultura da soja de mais de 40% até 2020, enquanto que nos Estados Unidos, atualmente um dos maiores produtores, o crescimento no mesmo período deverá ser, no máximo, de 15%. Com essa projeção, o Brasil atingirá a produção de mais de 105 milhões de toneladas, quando será isoladamente o maior produtor mundial dessa commodity (VENCATO et al., 2010).

A soja é a cultura agrícola brasileira que mais cresceu nas últimas três décadas e, atualmente, ocupa 49% da área plantada com grãos no país. Cultivada especialmente nas regiões Centro Oeste e Sul do país, a soja se firmou como um dos produtos de maior destaque na agricultura nacional e na balança comercial brasileira (BRASIL, 2013).

A indústria nacional transforma, por ano, cerca de 30,7 milhões de toneladas de soja, produzindo 5,8 milhões de toneladas de óleo comestível e 23,5 milhões de toneladas de farelo proteico, contribuindo para a competitividade nacional na produção de carnes, ovos e leite. Além disso, a soja e o farelo de soja brasileiros possuem alto teor de proteína e padrão de qualidade Premium, o que permite sua entrada em mercados extremamente exigentes como os da União Europeia e do

Japão. A soja também se constitui em alternativa para a fabricação do biodiesel, combustível capaz de reduzir em até 78% a emissão dos gases causadores do efeito estufa na atmosfera (BRASIL, 2013).

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA, por meio da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2013), realiza sistematicamente levantamentos das safras agrícolas para quantificar e acompanhar a produção brasileira. No último levantamento publicado em 2013, a cultura da soja apresentou na safra 2012/13 um crescimento na área plantada de 11% (2,7 milhões de hectares), passando de 25 para 27,7 milhões de hectares. A produtividade média de grãos registrada para a Região Centro-Sul, principal região produtora, apresentou um incremento de 15% quando comparado com o observado na safra anterior. Os efeitos dessas ocorrências na safra brasileira de 2012/13 apontaram para uma produção recorde de aproximadamente 81 milhões de toneladas, 22,7% a mais do que o montante obtido na safra anterior.

2.2 Botânica e ecofisiologia da soja

A soja cultivada no Brasil, para a produção de grãos, é uma planta herbácea, da classe Rosideae, ordem Fabales, família Fabaceae, subfamília Papilionoideae, tribo Phaseoleae, gênero *Glycine L.*, espécie max (TRACE, 2012). As principais variedades comerciais apresentam caule híspido, pouco ramificado e raiz com eixo principal e muitas ramificações. As plantas possuem folhas trifolioladas (exceto o primeiro par de folhas simples, no nó acima do nó cotiledonar). Têm flores de fecundação autógama, típicas da sub-família Papileonoideae, de cor branca, roxa ou intermediária. Desenvolvem vagens (legumes) levemente arqueadas que, à medida que amadurecem, mudam da cor verde para amarelo-pálido, marrom-claro, marrom ou cinza, e que podem conter de uma a cinco sementes lisas, elípticas ou globosas, de tegumento predominantemente amarelo pálido, com hilo preto, marrom, ou amarelo-palha. Apresentam crescimento indeterminado (sem racemo terminal), determinado (com racemo terminal) ou semi-determinado (intermediário) (SEDIYAMA et al., 1999).

A estatura das plantas varia, dependendo das condições do ambiente e da cultivar. A estatura ideal está entre 60 a 110 cm, o que, em lavouras comerciais,

pode facilitar a colheita mecânica e evitar o acamamento. O ambiente também influencia sua floração e, consequentemente, seu ciclo (GARNER; ALLARD, 1920). A floração da soja responde ao nictoperíodo, ou duração da noite (BORTHWICK; HENDRICKS, 1952). Para facilitar a compreensão, normalmente fala-se em fotoperíodo, que é a duração do dia, e diz-se que a soja é uma planta de dias curtos, uma vez que, sob dias longos, ela atrasa seu florescimento e alonga seu ciclo (SUMMERFIELD et al., 1989). Com o uso da característica do florescimento tardio em dias curtos, ou do chamado “período juvenil longo”, o fotoperíodo deixa de ser limitante ao cultivo comercial nas regiões de baixas latitudes (KIIHL; GARCIA, 1989).

As cultivares brasileiras de soja são classificadas em grupos de maturação (GM), com base no seu ciclo. Essa classificação varia conforme a região. Por exemplo, em Minas Gerais, os GM são denominados de: semiprecoce (ciclo de 101 a 110 dias); médio (ciclo de 111 a 125 dias); semitardio (ciclo de 126 a 145 dias); tardio (ciclo >145 dias), enquanto que no Paraná para a mesma denominação os ciclos são mais longos: precoce (ciclo de até 115 dias); semiprecoce (ciclo de 116 a 125 dias); médio (ciclo de 126 a 137 dias) e semitardio (ciclo de 138 a 150 dias) (EMBRAPA, 2013).

As condições proporcionadas pela variação dos elementos meteorológicos são dependentes da região, do tipo de solo, da época de semeadura e do ciclo da cultura. Assim, a descrição da fenologia da soja permite identificar e agrupar os estádios de desenvolvimento da cultura e relacioná-los com suas necessidades específicas, no decorrer do ciclo. A descrição dos estádios de desenvolvimento de Fehr e Caviness (1977) é a mais utilizada no mundo por apresentar uma terminologia única, objetiva, precisa e universal, capaz de descrever um único indivíduo, ou uma lavoura inteira, de qualquer cultivar, sendo também adotada no Brasil (EMBRAPA, 2011).

O estádio vegetativo, denominado VE, representa a emergência dos cotilédones, isto é, uma plântula recém-emergida é considerada em VE quando encontra-se com os cotilédones acima da superfície do solo e os mesmos formam um ângulo ≥ 90º, com seus respectivos hipocótilos. O estádio vegetativo denominado VC representa aquele em que os cotilédones se encontram completamente abertos e expandidos, isto é, uma plântula é considerada em VC quando as bordas de suas folhas unifolioladas não mais se tocam (EMBRAPA, 2011).

A partir do VC, as subdivisões dos estádios vegetativos são numeradas sequencialmente (V1, V2, V3, V4, V5, V6,..Vn, em que n é o número de nós acima do nó cotiledonar com folha completamente desenvolvida). Assim, uma plântula está em V1 quando as folhas unifolioladas (opostas, no primeiro nó foliar) estiverem completamente desenvolvidas, isto é, quando os bordos dos folíolos da primeira folha trifoliolada não mais se tocarem. De modo semelhante, uma planta atinge o estádio V2 quando a primeira folha trifoliolada estiver completamente desenvolvida, ou seja, quando os bordos dos folíolos da segunda folha trifoliolada não mais se tocarem, e assim, sucessivamente, para V3, V4, V5, V6...Vn (EMBRAPA, 2011).

Os estádios reprodutivos são denominados pela letra R seguida dos números 1 a 8 e descrevem detalhadamente o período florescimento-maturação. Os estádios reprodutivos abrangem quatro distintas fases do desenvolvimento reprodutivo da planta, ou seja, florescimento (R1 e R2), desenvolvimento da vagem (R3 e R4), desenvolvimento do grão (R5 e R6) e maturação (R7 e R8) (EMBRAPA, 2011). Na Tabela 1 são apresentados os estádios vegetativos e reprodutivos da soja.

2.3 Valor de cultivo e uso e indicação de cultivares de soja

Com a criação da lei de proteção de cultivares, a Embrapa foi imediatamente demandada, juntamente com Universidades e instituições públicas e privadas de pesquisa, para apoiar o MAPA na elaboração de normas para a proteção e o registro de cultivares e no estabelecimento de protocolos para a avaliação do Valor de Cultivo e Uso (VCU) das cultivares e linhagens promissoras (KASTER; FARIAS, 2012).

Considerando-se a diversidade de ecossistemas e dos tipos de solo e de clima (latitude e altitude) do país, foram estabelecidas, cinco macrorregiões sojícolas (MRS) e vinte regiões edafoclimáticas (REC) distintas para a pesquisa e a indicação de cultivares e respectivas épocas de semeadura (Figura 1). Os fatores que determinam as MRSs, no modelo, são latitude (fotoperíodo/temperatura) e regime de chuva, enquanto as RECs diferenciam-se por altitude (temperatura) e tipo de solo (KASTER; FARIAS, 2012).

Tabela 1 – Estádios de desenvolvimento da soja (Adaptado de EMBRAPA, 2011)

Período	Estádio	Descrição
Vegetativo	VE	Cotilédones acima da superfície do solo
	VC	Cotilédones completamente abertos
	V1	Folhas unifolioladas completamente desenvolvidas
	V2	Primeira folha trifoliolada completamente desenvolvida
	V3	Segunda folha trifoliolada completamente desenvolvida
	Vn	Ante-enésima folha trifoliolada completamente desenvolvida
Reprodutivo	R1	Início do florescimento - Uma flor aberta em qualquer nó do caule
	R2	Florescimento pleno - Uma flor aberta num dos 2 últimos nós do caule com folha completamente desenvolvida
	R3	Início da formação da vagem - Vagem com 5 mm de comprimento num dos 4 últimos nós do caule com folha completamente desenvolvida
	R4	Vagem completamente desenvolvida - Vagem com 2 cm de comprimento num dos 4 últimos nós do caule com folha completamente desenvolvida
	R5	Início do enchimento do grão - Grão com 3 mm de comprimento em vagem num dos 4 últimos nós do caule, com folha completamente desenvolvida
	R6	Grão cheio ou completo - vagem contendo grãos verdes preenchendo as cavidades da vagem de um dos 4 últimos nós do caule, com folha
	R7	Início da maturação - Uma vagem normal no caule com coloração de vagem madura
	R8	Maturação plena - 95% das vagens com coloração de madura

2.4 Clima e produção agrícola

De todos os fatores inerentes à produção agrícola, o clima aparece como aquele de mais difícil controle e maior ação, limitando as máximas produtividades (FARIAS, 2005). Aliado a isto, a imprevisibilidade das variabilidades do clima confere à ocorrência de adversidades climáticas o principal fator de risco e de insucesso na exploração das principais culturas. Estresses abióticos como a seca, excesso de chuvas, ondas de calor ou de frio, baixa luminosidade, etc., podem reduzir significativamente os rendimentos em lavouras e restringir os locais, as épocas e os solos onde as espécies comercialmente importantes podem ser cultivadas. Dos elementos climáticos, a temperatura, o fotoperíodo, a disponibilidade hídrica e a radiação solar são os que mais afetam o desenvolvimento e a produtividade da soja (FARIAS et al., 2007).

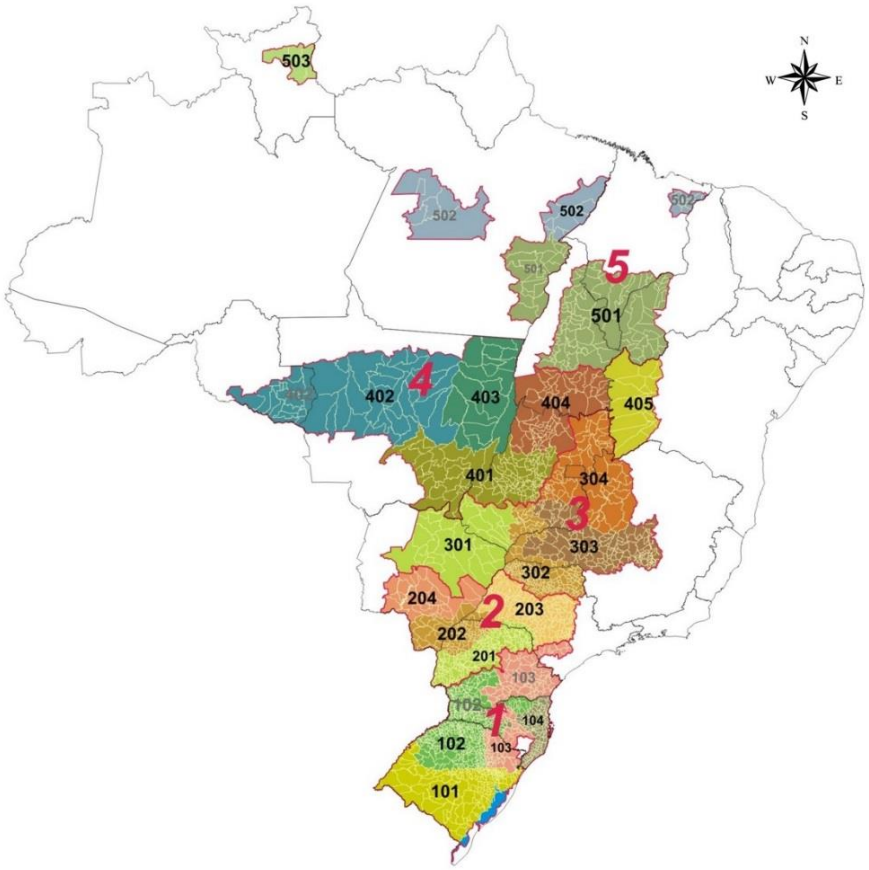

Figura 1 – Disposição das cinco macrorregiões (números em vermelho) sojícolas e das vinte regiões edafoclimáticas no Brasil. Fonte: Kaster e Farias (2012)

2.4.1 Radiação solar

A radiação solar é um importante fator ambiental que, além de fornecer energia luminosa para a fotossíntese, também afeta uma gama de processos fisiológicos da soja. Nesse contexto, além da intensidade da radiação solar, a duração e a qualidade do espectro luminoso são determinantes para respostas morfológicas e fenotípicas marcantes na cultura da soja, tais como estatura da planta, aumento do índice de área foliar, indução ao florescimento e ontogenia (THOMAS,1994; CASAROLI et al., 2007).

Plantas de soja submetidas ao sombreamento apresentam redução no número de folhas e de vagens e menor acúmulo de massa seca (MELGES et al., 1989). Wahua e Miller (1978) verificaram o efeito de níveis de sombreamento no

decréscimo da produtividade agrícola da soja em torno de 85% com 20% de sombreamento e de 100% com 93% de sombreamento.

Contrariamente, em experimento onde o enriquecimento da radiação solar (por meio da inclinação em 45 graus das fileiras de bordadura) foi iniciado no final do período vegetativo e no início do florescimento, foi observado aumento da produtividade da ordem de 144 e 252%, respectivamente. Esses aumentos se deveram, principalmente, ao maior número de vagens. Quando o enriquecimento luminoso ocorreu no início da formação das vagens, o aumento do tamanho da semente variou de 8 a 23%, resultando em aumento do rendimento de 32 a 115% (MATHEW et al., 2000).

Em outro experimento de enriquecimento luminoso, foi observado maior taxa de crescimento da semente, maior peso seco de semente e maior número de células cotiledonares sob maior disponibilidade de energia, enquanto que, sob o sombreamento houve redução na taxa de crescimento da semente e no número de células cotiledonares, juntamente com significativa queda nos níveis de ABA endógeno na semente (LIU et al., 2006).

Por outro lado, Adams e Adams (1992) e Jiang et al. (2006) citam que intensidade elevada de radiação solar absorvidas pelas plantas podem levá-las à saturação luminosa, diminuindo a eficiência no uso da radiação. Essa radiação solar em excesso pode promover a formação de peróxidos e superóxidos, os quais são prejudiciais às plantas (TAIZ; ZEIGER, 2009).

2.4.2 Temperatura e fotoperíodo

A soja se adapta melhor a temperaturas do ar entre 20ºC e 30ºC; a temperatura ideal para seu crescimento e desenvolvimento está em torno de 30ºC (EMBRAPA, 2013).

Com relação à temperatura do solo, Neumaier et al. (2000) destacam que se essa temperatura estiver maior do que 55ºC, as plantas em estádio cotiledonar podem sofrer desestruturação das membranas celulares, resultando em tombamento da planta. Este dano pode ser amenizado utilizando-se semeadura direta de forma bem manejada com presença de cobertura de palha no solo. Sempre que possível, a semeadura da soja não deve ser realizada quando a temperatura do solo estiver abaixo de 20ºC porque isso prejudica a germinação e a emergência. A

faixa de temperatura do solo adequada para semeadura varia de 20ºC a 30ºC, sendo 25ºC a temperatura ideal para uma emergência rápida e uniforme. O crescimento vegetativo da soja é pequeno ou nulo a temperaturas menores ou iguais a 10ºC. Temperaturas acima de 40ºC têm efeito adverso na taxa de crescimento, provocando distúrbios na floração e diminuindo a capacidade de retenção de vagens. Esses problemas se acentuam com a ocorrência de déficits hídricos (EMBRAPA, 2013).

A floração da soja somente é induzida quando ocorrem temperaturas acima de 13 ºC (EMBRAPA, 2013). As diferenças de data de floração, entre anos, apresentadas por uma cultivar semeada numa mesma época, são devido às variações de temperatura. Assim, a floração precoce ocorre, principalmente, em decorrência de temperaturas mais altas, podendo acarretar diminuição na altura das plantas. Esse problema pode se agravar se, paralelamente, houver insuficiência hídrica e/ou fotoperiódica durante a fase de crescimento. Diferenças de data de floração entre cultivares, numa mesma época de semeadura, são devido, principalmente, à resposta diferencial das cultivares à duração do dia (fotoperíodo). Quanto à temperatura basal da cultura da soja, os valores variam de 13°C (FARIAS et al., 2009) a 14°C (CAMARGO et al., 1987), sendo que a temperatura do ar deve estar superior à temperatura basal para que a floração seja induzida, assim como as condições de fotoperíodo favoráveis.

A maturação pode ser acelerada pela ocorrência de altas temperaturas. Quando associadas a períodos de alta umidade, as altas temperaturas contribuem para diminuir a qualidade da semente e, quando associadas a condições de baixa umidade, predispõem a semente a danos mecânicos durante a colheita. Temperaturas baixas na fase da colheita, associadas a período chuvoso e/ou de alta umidade, podem provocar atraso na data de colheita, bem como haste verde e retenção foliar (FARIAS et al., 2007).

A adaptação de diferentes cultivares a determinadas regiões depende, além das exigências hídricas e térmicas, de sua exigência fotoperiódica (MARQUES, 2010). O estímulo ao fotoperíodo inicia-se com a emissão da segunda folha verdadeira, e a partir deste ponto ocorrem processos que induzem à diferenciação dos meristemas vegetativos em reprodutivos, sendo que a velocidade com que isso

ocorre é função da sensibilidade da cultivar ao fotoperíodo (RODRIGUES et al., 2001).

A sensibilidade ao fotoperíodo é característica variável entre cultivares, ou seja, cada cultivar possui seu fotoperíodo crítico, acima do qual o florescimento é inibido (FARIAS et al., 2007). Por isso, a soja é considerada planta de dia curto. Em função dessa característica, a faixa de adaptabilidade de cada cultivar varia à medida que se desloca em direção ao norte ou ao sul. Entretanto, cultivares que apresentam a característica “período juvenil longo” possuem adaptabilidade mais ampla, possibilitando sua utilização em locais com uma faixa mais abrangente de latitude e de épocas de semeadura (EMBRAPA, 2011). Rodrigues et al. (2001) afirmam que o estudo do tempo para o início da floração da soja, sob diferentes condições de fotoperíodo e temperatura do ar, são de suma importância para o manejo da cultura e para tanto o uso de modelos de crescimento e desenvolvimento são de grande utilidade.

2.4.3 Disponibilidade hídrica

A água constitui aproximadamente 90% do peso das plantas, atuando em, praticamente, todos os seus processos fisiológicos e bioquímicos, desempenhando a função de solvente, através da qual gases, minerais e outros solutos entram nas células e movem-se pela planta. Além disso, a água tem papel importante na regulação térmica das plantas, agindo tanto no resfriamento como na manutenção e distribuição do calor (VIVAN, 2010).

A disponibilidade de água é importante, principalmente, em dois períodos de desenvolvimento da soja: germinação-emergência e floração-enchimento de grãos. Durante o primeiro período, tanto o excesso quanto o déficit de água são prejudiciais à obtenção de uma boa uniformidade na população de plantas. A semente de soja necessita absorver, no mínimo, 50% de seu peso em água para assegurar boa germinação. Nessa fase, o conteúdo de água no solo não deve exceder a 85% do total máximo de água disponível e nem ser inferior a 50%. A necessidade de água da cultura da soja vai aumentando com o desenvolvimento da planta, atingindo o máximo consumo hídrico durante a floração-enchimento de grãos, decrescendo após esse período (FARIAS et al., 2007).

Conforme Farias et al. (2007), o déficit hídrico é o limite de ajuste entre a absorção de água e a transpiração da planta, sendo que a transpiração é função da demanda atmosférica e o déficit hídrico é iniciado a partir do momento em que a transpiração passa a ser limitada pela disponibilidade de água no solo. Segundo Pereira et al. (2002), essa limitação ocorre devido ao fato da extração de água do solo pelas raízes não ser linear mas sim exponencial negativa, ou seja, começa a existir uma resistência cada vez maior à extração de água pelas raízes com a redução da umidade do solo.

Déficits hídricos expressivos, durante a floração e o enchimento de grãos, provocam alterações fisiológicas na planta, como o fechamento estomático e o enrolamento de folhas e, como consequência, causam a queda prematura de folhas e de flores e abortamento de vagens, resultando, por fim, em redução do rendimento de grãos (EMBRAPA, 2013).

A necessidade total de água da cultura da soja, para obtenção do máximo rendimento, varia entre 450 a 800 mm por ciclo, dependendo das condições climáticas, do manejo da cultura e da duração do ciclo. Relacionando a deficiência hídrica com os estádios de desenvolvimento da soja, Nogueira e Nagai (1988) verificaram que em qualquer período do desenvolvimento da cultura a ocorrência de déficit hídrico resulta em perda de produtividade. O estresse causado por deficiência de água resulta em plantas de pequena estatura, com folhas pequenas e entrenós curtos (FARIAS et al., 2007).

O desenvolvimento de plantas tolerantes à seca é uma das estratégias de manejo da cultura da soja que busca mitigar os efeitos dos riscos climáticos, já que a área de cultivo que sofre com a seca deverá aumentar no futuro, devido ao aquecimento global. Tal estratégia se dá pela obtenção de plantas com fatores de transcrição gênica que regulam a expressão de vários genes relacionados com a resposta de defesa aos estresses abióticos (ROLLA et al., 2013). Outras estratégias para minimizar os efeitos do déficit hídrico são: semear apenas cultivares adaptadas às condições edafo-climáticas da região; semear em épocas recomendadas e de menor risco climático; semear com adequada umidade em todo o perfil do solo; e adotar práticas que favoreçam o armazenamento de água pelo solo. A irrigação também é uma medida eficaz para a redução do estresse hídrico, porém de custo elevado (EMBRAPA, 2013).

Já o excesso de água resulta em plantas de pequena estatura, com folhas pequenas e amareladas, entrenós curtos, raízes adventícias e nódulos na superfície do solo e com a base do caule apresentando tecido esponjoso (aerênquima). Longos períodos de encharcamento dos solos, excesso de chuvas, muitos dias nublados e com pequena demanda evaporativa da atmosfera reduzem o crescimento da planta e diminuem a área foliar. O encharcamento e o mau arejamento do solo diminuem o crescimento das raízes, o que pode causar deficiências nutricionais e favorecer o ataque de doenças radiculares (FARIAS et al., 2007).

Durante a estação de crescimento, o alagamento do solo, provocado por chuvas em excesso e drenagem deficiente, pode prejudicar a atividade microbiológica e a fixação biológica do nitrogênio, com reflexos na qualidade dos grãos e na produtividade. O excesso de chuva no período da colheita possibilita o aparecimento de alta porcentagem de grãos ardidos, mofados e/ou germinados, reduzindo a qualidade e a produção. Além disso, tais condições dificultam o tráfego de máquinas no campo e não permitem que os grãos atinjam a umidade ideal do ponto de colheita, provocando perdas significativas na produtividade de grãos da cultura (OLIVEIRA et al., 2013; CAMPOS, 2012).

2.5 Mudanças climáticas e cenários futuros

O clima, palavra derivada do grego (*klima*) que significa inclinação, compreende um padrão dos diversos elementos atmosféricos que ocorrem na atmosfera da Terra. O clima é o ambiente resultante da ação e interação do conjunto heterogêneo de características físicas dos elementos atmosféricos que o definem num determinado período e numa determinada zona, região ou local. Fenômenos como frentes frias, tempestades, furacões e outros estão associados às variações meteorológicas, assim como a um conjunto de variações aleatórias dos elementos meteorológicos (temperatura, precipitação, vento, umidade, pressão do ar) cuja principal ferramenta de investigação é a estatística, ou seja, o sequenciamento das condições instantâneas da atmosfera em um local (PEREIRA et al., 2002; BARRY; CHORLEY, 2013)

O clima é um dos fatores mais importantes para a agricultura. Somente após o conhecimento do potencial climático de uma determinada região é possível

estabelecer se há condições de cultivo de uma dada cultura (GOUVÊA, 2008; ASSAD et al., 2010).

As condições climáticas na Terra sofrem flutuações contínuas. Dependendo da escala de tempo em que se trabalha é possível visualizar essa variabilidade e definir o que são mudanças climáticas, variabilidade climática e anomalias climáticas. Entende-se como variabilidade climática as flutuações em torno da média de longo período, e as anomalias climáticas como sendo os desvios acentuados em relação à média, citando entre eles as secas, inundações, ondas de calor, etc. (PEREIRA et al., 2002).

As emissões de gases de efeito estufa estão entre as principais causas das mudanças climáticas. O relatório de avaliação do grupo de trabalho 4 do IPCC (GT4) concluiu que a maior parte do aumento na temperatura média global, desde meados do século 20, é muito provavelmente devido ao aumento observado nas atividades antrópicas e nas concentrações de gases de efeito estufa no ambiente (IPCC, 2007a).

Embora o relatório se concentre no setor de energia e levantamentos dos desmatamentos, queimadas e mudanças no uso da terra, a liberação de CO_2 pelas indústrias, comércio e agricultura também contribuem para o aquecimento global (IPCC, 2007b). O IPCC (2007a) projetou que a temperatura média global vai subir ao longo deste século entre 1,1 e 6,4 °C acima da média de 1980 a 1999 (Figura 2). Essa variação nos dados prognosticados surge da incerteza sobre a quantidade de gases de efeito estufa que serão emitidos no futuro, e da incerteza sobre a sensibilidade climática. O IPCC avaliou os impactos adversos das mudanças climáticas associado ao aumento do nível do mar, acidificação do oceano, abastecimento de água, ecossistemas costeiros, na segurança alimentar e na saúde humana e as conclusões são alarmantes (IPCC, 2007c).

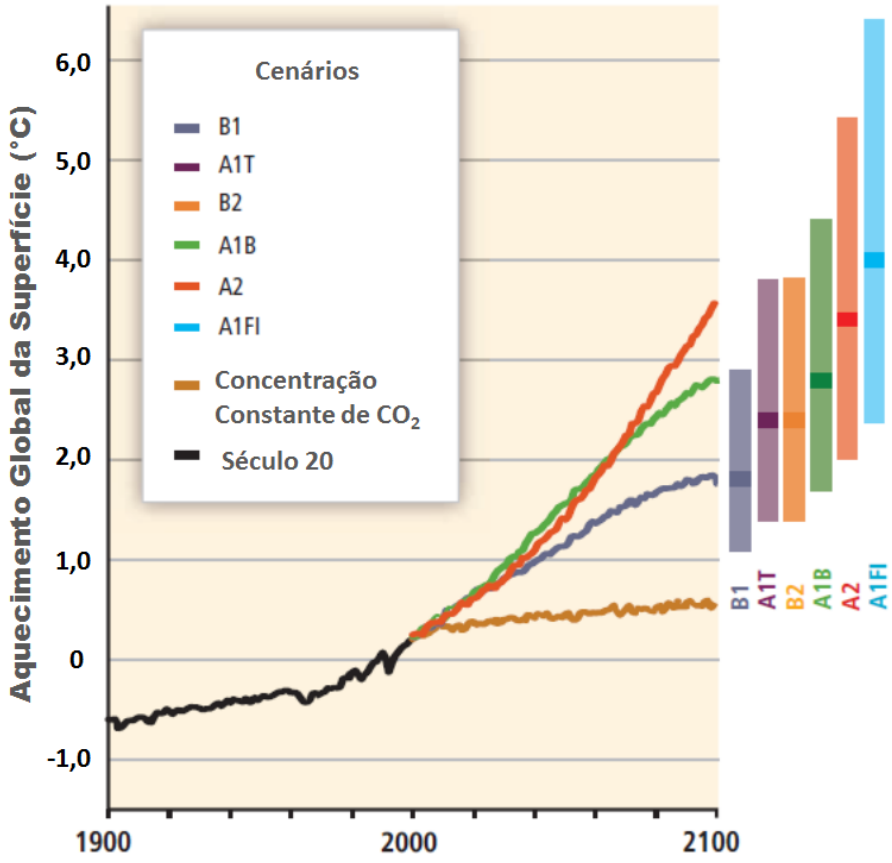

Figura 2 – Médias globais da projeção do aquecimento da superfície para os cenários A1, A2, B1 e B2. A linha marrom não é um cenário, representa a simulação para a atmosfera nos oceanos em geral, onde as concentrações atmosféricas são constantes em valores de 2000. As barras na parte direita da figura indicam a melhor estimativa (linha sólida dentro de cada barra) e as faixas prováveis para as avaliações para os seis cenários. Todas as temperaturas são relativas ao período de 1980 a 1999. B1, A1T, B2, A1B, A2 e A1FI são cenários futuros para as concentrações de CO_2 de 600, 700, 800, 850, 1250 e 1550 ppm, respectivamente. Adaptado de IPCC (2007a)

O cenário A2 é o que estabelece um aquecimento de 2 a 5,4°C e descreve um mundo heterogêneo, com crescimento elevado da população, crescimento econômico, mudança tecnológica mais lenta e de altas emissões de CO_2. O fundamento é a autoconfiança e a manutenção de identidades locais, o que resulta em crescimento contínuo da população. O desenvolvimento econômico é essencialmente orientado para a região e o crescimento econômico per capita e o desenvolvimento tecnológico se apresentam mais fragmentados e lentos do que em outros cenários apresentados no relatório do IPCC (2007a).

O cenário B2 é aquele que estabelece um aquecimento de 1,4 a 3,8°C e descreve um mundo baseado em soluções locais aos problemas globais, com crescimento da população moderado, existindo níveis intermediários para o desenvolvimento econômico e uma mudança tecnológica mais diversa. Neste cenário, a ênfase está nas soluções locais para a sustentabilidade econômica, social e ambiental. É um mundo com população global continuamente crescente, em taxas mais baixas do que no cenário A2, com níveis intermediários de desenvolvimento econômico, progresso tecnológico menos acelerado e mais diversificado do que nos cenários B1 e A1. O cenário também é orientado para a proteção ambiental e igualdade social, focando nos níveis locais e regionais (IPCC, 2007a).

As concentrações atmosféricas de dióxido de carbono, metano e óxido nitroso têm aumentado para níveis nunca antes registrados. As concentrações de gás carbônico na atmosfera aumentaram cerca de 40% desde os tempos pré-industriais. O oceano tem absorvido cerca de 30% do dióxido de carbono antropogênico emitido, causando a acidificação dos oceanos (IPCC, 2013).

As recentes mudanças climáticas, especialmente o aumento da temperatura, já estão afetando globalmente sistemas físicos (clima, recursos hídricos, nível do mar), biológicos (ecossistemas naturais, distribuição de espécies), agrícolas (culturas anuais e perenes), assim como a sociedade (saúde humana, disponibilidade hídrica, transporte fluvial, desastres naturais). Independentemente de suas origens, estas mudanças produzem impactos que poderão ter amplos reflexos no meio ambiente, na agricultura e especialmente sobre a saúde e bem estar da população humana. Os sistemas biológicos são vulneráveis às mudanças climáticas, e alguns serão prejudicados irreversivelmente (MARENGO, 2007; SANTOS et al., 2013).

A década de 1990 foi a mais quente desde que as primeiras medições, no fim do século XIX, foram efetuadas (MARENGO, 2007). Este aumento nas décadas recentes corresponde ao aumento no uso de combustível fóssil durante este período. Até o final do século XX, o ano de 1998 foi o mais quente desde o início das observações meteorológicas em 1861, com 0,54ºC acima da média histórica de 1961-90. Os anos 1995 a 2004 (com exceção de 1996) estão entre os mais quentes do período. Já no século XXI, a temperatura do ar a nível global em 2005 foi de 0,48ºC acima da média, sendo este o segundo ano mais quente do período,

enquanto que 2003 foi o terceiro mais quente, com 0,44ºC acima do normal (CLIMATIC RESEARCH UNIT UNIVERSITY OF EAST ANGLIA - CRU-UEA, 2012).

O Grupo de Trabalho 2 (GT2) do IPCC (IPCC, 2001) dedicado à América Latina apresenta para o Brasil alguns resultados interessantes, que realmente mostram um avanço em estudos sobre variabilidade e mudanças no clima desde 1996. Observou-se que variações nas chuvas e nas vazões de rios na Amazônia e no Nordeste apresentaram uma variabilidade interanual e em escalas de tempo interdecadal. A variabilidade está associada a padrões de variação da mesma escala de tempo nos oceanos Pacífico e Atlântico, como a variabilidade interanual associada ao fenômeno El Niño Oscilação Sul, ENOS, ou à a variabilidade decadal do Pacífico (*Pacific Decadal Oscillation* - PDO), do Atlântico (*North Atlantic Oscillation* - NAO) e à variabilidade do Atlântico Tropical e do Atlântico Sul. No Sul do Brasil e no Norte da Argentina, tendências para aumento das chuvas e vazões de rios foram observadas desde meados do século XX, enquanto que na Amazônia, ainda que o desmatamento tenha aumentado gradativamente nos últimos vinte anos, não se detectaram tendências significativas nas chuvas ou vazões nessa região. No Nordeste, tem sido observado um ligeiro aumento de chuvas no longo prazo, mas a tendência não é estatisticamente significativa (MARENGO, 2007).

2.5.1 Mudanças climáticas e seus impactos na agricultura

No Brasil, vários estudos foram feitos sobre os impactos das mudanças climáticas na agricultura. Assad e Luchiari Jr. (1989) avaliaram as possíveis alterações de produtividade de grãos para as culturas de soja e milho diante de cenários de aumento e de redução de temperatura. Siqueira et al. (2000) apresentaram, para alguns pontos do Brasil, os efeitos das mudanças globais na produção de trigo, milho e soja. Pinto et al. (2001, 2007), Assad et al. (2007), Zullo Jr. et al. (2006) e Nobre et al. (2005) elaboraram estudos detalhados sobre o futuro da agricultura brasileira em função dos cenários previstos para o clima regional, sendo essas as primeiras tentativas de se identificar o impacto das mudanças do clima na produção agrícola brasileira.

Segundo Assad et al. (2013), o aumento previsto na temperatura fez com que a região Nordeste apresentasse a maior redução na área de baixo risco para cultivo de algodão, em comparação com as demais regiões do país. Essa área pode

diminuir de 83 milhões de ha no ano de 2010 para aproximadamente 71 milhões de ha em 2040, o que significaria 15% de redução em 30 anos. As regiões Sudeste e Centro-Oeste apresentam pequena redução nas áreas aptas para o cultivo de algodão até 2040, enquanto a região Norte não teve redução nessas áreas. A elevação das temperaturas não é benéfica para a produção do algodão no Brasil porque a área de baixo risco para o cultivo econômico pode diminuir.

Contudo Marin et al. (2012) mostraram que em todas as projeções climáticas avaliadas, as simulações sugerem o aumento da massa fresca e a redução da variabilidade da produtividade da cana de sequeiro no Estado de São Paulo, Brasil. As Simulações também sugeriram um aumento para o aumento da eficiência do uso da água, tal aumento devido à maior concentração de CO_2, parece ser a principal causa para a resposta positiva das produtividades simuladas. As produtividades projetadas para 2050 variaram entre 96 e 129 t ha^{-1}. Resultados semelhantes já haviam sido obtidos por Gouvêa et al. (2008).

Considerando o cenário de aumento das temperaturas, pode-se então admitir que as regiões climaticamente limítrofes àquelas de delimitação de plantio adequado de culturas agrícolas já se tornaram ou se tornem, rapidamente, impróprias para o desenvolvimento da cultura. Quanto maior a anomalia, menos apta se tornará a região, até o limite máximo de tolerância biológica ao calor. Por outro lado, culturas mais resistentes às altas temperaturas, como as plantas C3 (leguminosas) (TAIZ; ZIEGER, 2009), provavelmente serão beneficiadas até o seu limite próprio de tolerância ao estresse térmico. Por outro lado, a maior demanda evaporativa, provocada pelo aumento da temperatura, com menor disponibilidade hídrica às plantas, poderá constituir-se no grande fator limitante à obtenção de altos rendimentos.

No caso de baixas temperaturas, regiões que atualmente são limitantes ao desenvolvimento de culturas mais vulneráveis às geadas, passarão a exibir, com o aumento do nível térmico, devido ao aquecimento global, condições favoráveis ao desenvolvimento dessas plantas (ASSAD et al., 2004). O caso mais típico para ilustrar essas duas situações é o da cultura do cafeeiro, que sob condições mais quentes possivelmente se deslocará do Sudeste (que ficará quente demais) para o Sul do país (mais adequado às suas necessidades).

Pellegrino et al. (2007), mostraram o efeito negativo das mudanças climáticas sobre a área considerada apta para o plantio, de acordo com os modelos do zoneamento de risco climático, havendo, para o caso da soja um decréscimo de 39% da área apta para o cultivo. A cultura da soja é a que mais deverá sofrer com o aquecimento global. Simulações realizadas por Pinto et al. (2008) mostram que as regiões ao sul do país e as localizadas no cerrado nordestino serão fortemente atingidas, o que resultará em redução das produtividades. No pior cenário, as perdas podem chegar a 40% em 2070, em decorrência do aumento da deficiência hídrica e do possível impacto dos veranicos mais intensos.

Justino et al. (2013) simularam a produtividade do milho com modelos de simulação e com dados climáticos observados e provenientes de simulações climáticas regionais, e observaram que poderá haver uma redução substancial na produtividade esperada para o fim do século 21. Resultados distintos foram encontrados para a soja. Na avaliação dos dados para o cenário A2 esses autores observaram que a produtividade da soja deverá ser cerca de 60% superior do que no cenário atual, caso não haja stress de água. No entanto, por meio da análise da variabilidade interanual da produtividade dessas culturas, tanto para o milho como para a soja, os autores concluíram que haverá maiores flutuações de ano para ano, em condições de aquecimento global do que nas condições atuais.

2.6 Modelos de simulação climática

Recentemente, não se têm mais dúvidas de que os métodos estatísticos (regressão, métodos multivariados, análise de periodicidade, redes neurais, entre outros), dinâmicos (Modelos de Circulação Geral – MCGs, Atmosférico - MCGAs e Acoplados oceano-atmosfera - MCGCs), ou combinação deles, são importantes ferramentas para a simulação do clima presente e projeções do clima futuro, possibilitando um aumento significativo na capacidade prognóstica de anomalias climáticas de escala sazonal em diversas partes do globo (ALVES, 2007).

Os Modelos de Circulação Geral descrevem importantes processos físicos da atmosfera, oceanos e superfície da terra que compõem o sistema climático. Uma desvantagem dos MCGs é a sua escala, que é tipicamente de algumas centenas de quilômetros de resolução. Já um modelo climático regional (MCR) tem uma alta resolução que cobre uma área limitada do globo, tipicamente de 5.000 x 5.000 km.

Os MCRs são baseados em leis físicas representadas por equações matemáticas que são resolvidas usando uma malha tridimensional. Desta forma, os MCRs incluem os componentes da superfície, da atmosfera terrestre e do clima, e que contenham representações de processos importantes dentro do sistema climático, tais como as nuvens, radiação, precipitação e hidrologia do solo. Muitos desses processos físicos ocorrem em menor escala espacial, onde a malha de um modelo mais amplo não poderia modelar e resolver de forma explícita (JONES et al., 2004; MONTEIRO, 2007; RAMOS, 2010).

O PRECIS (*Providing Regional Climate for Impacts Studies*) é um sistema de modelagem regional, que pode ser executado sobre qualquer área do globo (JONES et al., 2004). O modelo é flexível, fácil de usar, computacionalmente barato e projetado para fornecer cenários detalhados do clima. O modelo climático PRECIS é um modelo atmosférico de superfície, de área limitada e de alta resolução. O fluxo dinâmico, o ciclo do enxofre atmosférico, nuvens, precipitação, processos radiativos, e a superfície terrestre são possíveis de serem descritos a partir deste modelo (JONES et al., 2004). As principais variáveis que compreendem o modelo são a pressão atmosférica na superfície, componentes do vento horizontal, temperatura e a umidade na atmosfera. Além disso, para projetar a mudança climática, o PRECIS também inclui uma representação do ciclo do enxofre.

Almazroui (2013) mostrou em seu trabalho que as distribuições espaciais da precipitação e da temperatura atual simulada pelo PRECIS foram consistentes com o conjunto de dados observados e que as chuvas e as temperaturas simuladas seguem precisamente o ciclo anual e a variabilidade interanual obtidas a partir dos dados observados. Em outro trabalho, Almazroui (2011) mostrou que a elevada resolução dos MCRs testados melhorou a simulação da quantidade de precipitação das regiões costeiras do Mar Vermelho.

As projeções do modelo PRECIS indicam significativo aquecimento na Índia para o final do século 21. Segundo Kumar et al. (2011), o modelo climático regional mostrou boa habilidade em representar a média sazonal bem como algumas características de pequena escala de monção na Índia, o que leva a se esperar maior precipitação sobre o país, entre 9 e 16%, em 2080 em comparação com 1970, sob condições de aquecimento global. Além disso, os dias chuvosos são projetados para ser menos frequentes e mais intensos sobre a região central da Índia.

Mudanças em eventos extremos de precipitação e períodos de seca sugerem não apenas deslocamentos, mas também um aumento da probabilidade de ocorrência desses eventos. As mudanças projetadas em vários extremos de precipitação mostraram uma grande variabilidade regional no sul da Índia (RAO et al., 2013).

Segundo Kulkarni et al. (2013), o modelo PRECIS foi razoavelmente eficaz em simular o clima de monções sobre a região do Himalaia. As projeções climáticas foram avaliadas no curto (2011-2040), médio (2041-2070) e a longo prazo (2071-2098). As projeções indicaram que o modelo mostrou que um significativo aquecimento poderá ocorrer em toda a região no final do século 21. Maior precipitação de monções de verão é esperada, entre 20 e 40% a mais, em relação ao período de referência (1961-1990).

Karmalkar et al. (2011) observaram que o modelo PRECIS mostrou uma tendência à seca na estação chuvosa e uma tendência de maior precipitação na estação seca. Um aquecimento projetado, sob o cenário A2 do IPCC, foi maior na estação chuvosa do que na estação seca na Península de Yucatán, no México, e também uma grande redução da precipitação na temporada chuvosa foi projetada pelo modelo para a região.

Marengo et al. (2009a), usando o sistema de modelagem de clima regional PRECIS, analisaram a distribuição de extremos de temperatura e precipitação na América do Sul nos últimos anos (1961-1990) e no futuro (2071-2100) sob os cenários A2 e B2 do IPCC. Os resultados mostram que para o clima presente o modelo simula bem a distribuição espacial dos eventos extremos de temperatura e precipitação. Para o cenário futuro houve indícios de que regiões como o Nordeste do Brasil e na Amazônia as deficiências de chuvas deverão se intensificar, enquanto que na costa noroeste do Peru e Equador e norte da Argentina poderão haver excessos de precipitação (MARENGO et al., 2009b).

O modelo ETA, nome da sétima letra do alfabeto grego (H, η), é um modelo atmosférico usado para fins de pesquisa e para fins operacionais. O modelo é um descendente do modelo HIBU (Instituto Hidrometeorológico da Universidade de Belgrado), desenvolvido na década de setenta na ex-Iugoslávia (MESINGER; JANJIC, 1974). Na década de oitenta, o código recebeu sua primeira atualização (JANJIC, 1984) e, posteriormente, foi acrescido de física avançada (JANJIC, 1990; MESINGER; LOBOCKI, 1991). Tornou-se oficialmente operacional em 8 de junho de 1993 (BLACK, 1994). As variáveis prognósticas do modelo ETA são: pressão de

superfície; componentes do vento horizontal; temperatura; umidade específica; a energia cinética turbulenta e nuvens.

Chou et al. (2011) verificaram a capacidade do modelo ETA em reproduzir as alterações regionais provocadas pelos fenômenos climáticos El Niño e La Niña e mostraram que o modelo pode simular sinais típicos das precipitações e temperaturas destes fenômenos para o verão, embora alguns padrões parecessem deslocados, como durante o El Niño no verão na região nordeste do Brasil.

O uso do modelo ETA para geração de cenários futuros dos regimes pluviométricos tem apresentado resultados de considerável inconsistência, segundo Alves et al. (2004). Na avaliação das previsões de chuvas sazonais pelo modelo ETA, a geração de dados na previsão pluviométrica não apresentou boa comparação com os dados observados. Tanto os modelos globais quanto os regionais superestimam as chuvas.

Previsões sazonais de precipitação do modelo ETA foram também avaliadas por Chou et al. (2004) com relação as observações de superfície. Os índices de acerto mostraram que, em geral, as previsões de precipitação são melhores sobre a Amazônia, enquanto que sobre o Nordeste esses índices são menores e na região Centro-Sul apresenta desempenho mediano. Contudo, Tarasova et al. (2006) observaram que o modelo regional ETA tendeu a subestimar a precipitação na Amazônia e no Nordeste do Brasil durante o verão, possivelmente devido aos problemas na simulação de nebulosidade convectiva nestas regiões, presentes no modelo ETA.

Segundo Amanajás (2008), os índices que demonstraram maior eficácia do modelo ETA quanto às suas respostas de previsão em relação aos dados observados para o ano de 2007, apresentaram proporção de acertos de 77% e 73%, respectivamente para os períodos chuvoso e menos chuvoso. No entanto, para o mês de outubro, os totais pluviométricos foram subestimados pelo modelo.

Contudo, o Modelo de Circulação ETA, apresentou bom desempenho quanto ao prognóstico qualitativo das condições de chuva severa sobre a cidade de Natal. Os dados de precipitação mostram que de forma qualitativa é possível aumentar o grau de certeza e precisão na previsão, porém quanto ao aspecto quantitativo, o modelo necessita de ajustes, conforme visto nas condições reais (COSTA et al., 2013). Valores altos de índices de instabilidade também foram obtidos dos

resultados do modelo, avaliando chuvas intensas na região sudeste nas proximidades da Serra do Mar, indicando um bom desempenho do mesmo para alertas de intensa precipitação na região (VASCONCELLOS et al., 2010).

2.7 O sistema de Suporte à Decisão para Transferência Agrotecnologica

O Sistema de Suporte à Decisão para Transferência Agrotecnologica (DSSAT) é um sistema computacional que inclui um conjunto de modelos de crescimento de culturas que tem sido utilizado por muitos pesquisadores nas mais diversas condições climáticas e de solo, constituindo-se em uma ótima alternativa para obtenção de informações que auxiliem no planejamento e no manejo agrícola (HOOGENBOOM et al., 1992). No DSSAT, encontram-se vários modelos para as diferentes culturas: milho (Ceres-Maize), soja (Cropgro-Soybean), trigo (Ceres-Wheat), sorgo (Ceres-Sorghum), arroz (Ceres-Rice), cevada (Ceres-Barley), girassol (Ceres-Sunflower), entre outros (INTERNATIONAL BENCHMARK SITES NETWORK FOR AGROTECHNOLOGY TRANSFER - IBSNAT, 1989).

O DSSAT é uma coleção de módulos (programas) independentes que operam em conjunto (Figura 3). Os modelos de simulação de culturas estão no centro do diagrama mostrado na Figura 3. O “grupo” de bancos de dados, à esquerda do diagrama, descreve o clima, o solo, as condições experimentais, econômicas e informações dos genótipos para a aplicação dos modelos em diferentes situações. À direita do diagrama têm-se as aplicações e análises. O Software ajuda os usuários a preparar esses bancos de dados observados e comparar resultados simulados com os dados observados para dar-lhes confiança nos modelos ou para determinar se modificações são necessárias para melhorar a sua acurácia (JONES et al., 2003).

Além disso, programas contidos no DSSAT permitem que os usuários simulem opções de manejo da cultura ao longo de um número de anos para avaliar os riscos associados com cada opção. Os dados climáticos de entrada, como requisitos mínimos, são as coordenadas geográficas da estação meteorológica, os valores diários de radiação solar global (MJ m^{-2} dia^{-1}), temperatura máxima e mínima (°C) e precipitação (mm) (JONES et al., 2003; HOOGENBOOM et al., 2012).

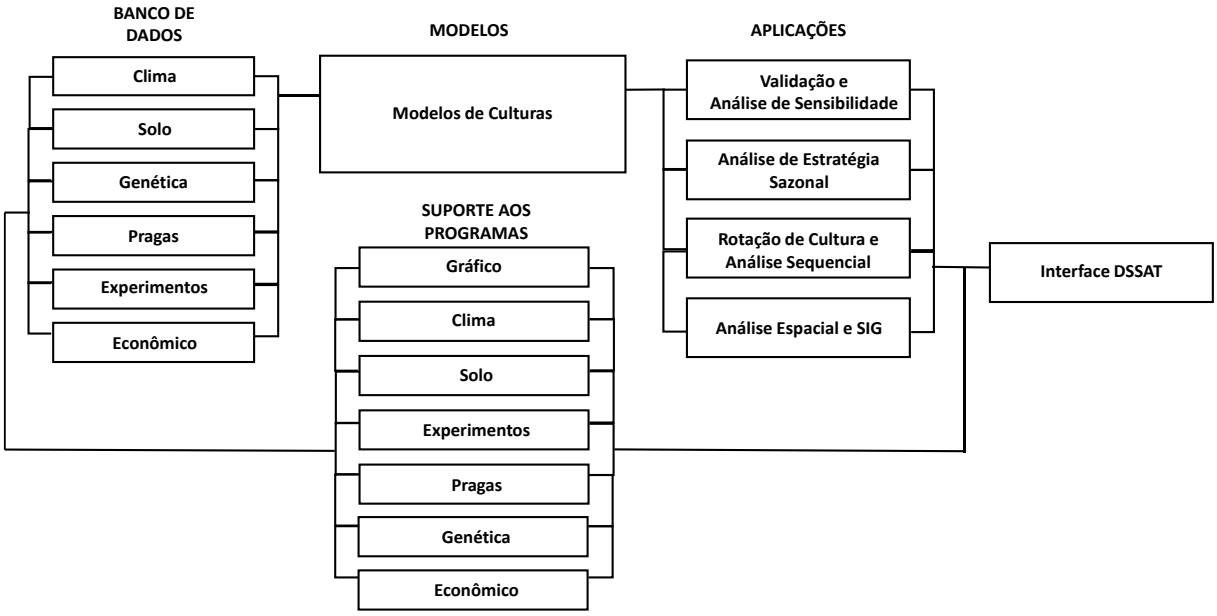

Figura 3 – Diagrama de funcionamento do sistema DSSAT (Sistema de Suporte à Decisão para Transferência Agrotecnologica). Adaptado de Jones et al. (2003)

Também integram o DSSAT as entradas de dados de solo (classificação do solo, declividade, granulometria, drenagem, profundidade dos horizontes e crescimento de raízes). A quantidade de água disponível é calculada levando em conta o ponto de murcha permanente, a capacidade de campo e o ponto de saturação do solo. A evapotranspiração potencial é calculada, como padrão, pelo método de Priestley-Tailor (1972), que tem como entrada apenas os dados de radiação solar e temperatura diária, e também pelo método de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998), que requer dados adicionais como velocidade do vento e umidade relativa do ar (SOLER et al., 2007; THORPA et al., 2008; TIMSINA et al., 2008; YANG et al., 2009; DZOTSI et al., 2010; LIU et al., 2011; HE et al., 2012; DELIGIOS et al., 2013; ZHA et al., 2014).

2.7.1 O modelo CSM-CropGro-Soybean

A modelagem de culturas agrícolas apresenta-se como uma importante ferramenta para integrar os fatores que afetam a produtividade da cultura de soja, podendo gerar subsídios para a definição de políticas públicas e de tomada de decisão, para a caracterização das alternativas de manejo e minimização dos riscos

ambientais. Além disso, essa modelagem pode proporcionar maior sustentabilidade do planejamento agrícola, reduzindo custos de produção e maximizando o uso dos recursos naturais sem prejudicar o ambiente (OLIVEIRA, 2010).

Na agricultura, a aplicação desses modelos se constitui em uma ferramenta que nos permite conhecer quantitativamente a influência das condições climáticas sobre o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade das culturas agrícolas. Com a modelagem, torna-se possível avaliar os principais fatores de restrição ao desenvolvimento agrícola e as melhores estratégias para o incremento da produção, como planejamento do uso do solo, adaptação de culturas e cultivares/variedades, monitoramento e previsão de safras, controle de doenças e pragas, estratégias de pesquisas e planejamento (GOUVÊA, 2008).

O modelo de simulação CSM-CropGro-Soybean, descrito por Boote et al. (1998), foi desenvolvido para a cultura da soja e permite as simulações dos principais processos fisiológicos da cultura, tais como fotossíntese; respiração; acumulação e partição da biomassa; fenologia; crescimento foliar, de caules e de raízes; extração de água do solo; e evapotranspiração, e produção da soja, respondendo à variação de dados climáticos de entrada, tais como: precipitação, radiação solar, temperaturas máxima e mínima. Também utiliza parâmetros de água no solo para avaliar o suprimento de água para as plantas. A sensibilidade do modelo varia com a cultivar, data de semeadura, manejo da cultura e manejo de irrigação.

Lazinski (1993) utilizou o modelo CSM-CropGro-Soybean para testar sua sensibilidade em relação aos parâmetros de entrada e verificar sua habilidade em estimar a produtividade de grãos da soja para a região de Londrina, Estado do Paraná, e constatou que a profundidade de semeadura e a densidade de plantio foram pouco sensíveis em relação à produtividade. Encontrou grande sensibilidade em relação à variação de capacidade de campo e ponto de murcha permanente. Dallacort et al. (2005) utilizando o modelo CSM-CropGro-Soybean observaram alta sensibilidade à variação dos coeficientes genéticos, mostrando variação entre os cultivares de soja. A distribuição da precipitação pluviométrica foi um dos fatores que mais influenciaram no índice de área foliar (IAF) e a produtividade de grãos da cultura da soja para a região noroeste do Paraná.

Os efeitos de nove diferentes datas de semeadura de duas cultivares de soja foram analisados por Egli e Bruening (1992), os quais utilizaram o modelo Soygro

v.5.41, precurssor do CSM-CropGro-Soybean, e constataram uma significativa correlação entre as produtividades de grãos medidas e simuladas. O Soygro simulou baixas produtividades, associadas com o atraso de plantio. Ainda, segundo Egli e Bruening (1992), a utilidade de modelos dessa natureza está em sua habilidade de manipulação dos fatores ambientais que influenciam no desenvolvimento e na produtividade da soja.

Análises de sensibilidade realizadas por Dallacort et al. (2006), pesquisando as melhores épocas de semeadura da cultura da soja, utilizando o modelo CSM-CropGro-Soybean, revelaram alta resposta do modelo à variação dos coeficientes genéticos dos cultivares estudados. As melhores épocas de semeadura foram consideradas em 15 de outubro e 1º de novembro, apresentando rendimento médios, ds cultivares CD202, CD204, CD206 e CD2010, de 2.450 kg ha^{-1} e de 2.303 kg ha^{-1}, respectivamente.

Rodrigues et al. (2012), calibraram o modelo CSM-CropGro-Soybean para duas cultivares de soja, e pesquisaram a ação da ferrugem asiática e sua resposta em condições edafo-climáticas de Viçosa, MG, e concluíram que cultivar semiprecoce, M-SOY 6101, para todas as datas de plantio analisadas, proporcionou menor risco e variância, ou seja, essa cultivar terá em 50% dos anos agrícolas maior produtividade de grãos que uma cultivar de ciclo tardio. A cultivar MG/BR 46 (Conquista) proporcionou maior probabilidade em obter maiores produtividades. Para a cultivar M-SOY 6101, os autores observaram menor risco do efeito da ferrugem e, consequentemente, menor redução de produtividade para a data de semeadura em14 de novembro.

Usando o modelo CSM-CropGro-Soybean para simular e avaliar a correlação entre a biomassa e a produtividade de grãos da soja, Paknejad et al. (2014), mostraram que o modelo responde bem quando comparados os resultados simulados com os dados observados, para duas cultivares, Williams e Zane. Em outro estudo (PAKNEJAD et al., 2012), os autores mostraram que, em geral, o modelo simulou bem a biomassa total e rendimento de grãos em diferentes datas de semeadura.

Wang et al. (2002) mostraram que o modelo CSM-CropGro-Soybean foi utilizado com sucesso para simular o índice de área foliar e produção de grãos em anos de pluviosidade média.

Sau et al. (1999), pesquisando as respostas do modelo CSM-CropGro-Soybean para caracteres agronômicos da cultura da soja na região da Galícia, noroeste da Espanha, mostraram que o índice médio simulado de colheita (IC) para a safra de 1995 foi maior do que para a safra de 1994. As simulações, contudo, mostraram bom desempenho do modelo. O modelo também apresentou alta performance, simulando bem os estádios fenológicos da cultura em condições irrigadas e não irrigadas (MARTORANO et al., 2008).

Simulando a eficiência do uso da água para a cultura da soja, Oliveira et al. (2013), utilizando o modelo CSM-CropGro-Soybean, mostraram que este superestimou a eficiência do uso da água da cultura da soja ao avaliar variações do rendimento da soja sob diversas condições climáticas no sudeste dos EUA.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Região de estudo

No presente trabalho foram contempladas as principais regiões produtoras de soja dos três estados que compõem a Região Sul do Brasil: Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Foram escolhidos os municípios mais representativos em termos de área plantada, produção e de variabilidade temporal dos rendimentos de grãos em função da ocorrência de adversidades climáticas, resultando em treze regiões, as quais se encontram na Tabela 2 e na Figura 4.

Tabela 2 – Localidades representativas das principais regiões produtoras de soja da região Sul do Brasil e suas respectivas latitudes, longitudes e altitudes

Estado	Localidades	Latitude	Longitude	Altitude (m)
PR	Londrina	23º31'S	51º13'W	566
	Campo Mourão	24º05'S	52º36'W	616
	Palotina	24º20'S	53º84'W	310
	Castro	24º78'S	50º00'W	1009
	Cascavel	24º96'S	53º24'W	760
SC	Chapecó	27º11'S	52º61'W	679
	Campos Novos	27º38'S	51º20'W	947
RS	Passo Fundo	28º21'S	52º40'W	684
	Cruz Alta	28º63'S	53º60'W	473
	Santa Maria	29º70'S	53º70'W	95
	Uruguaiana	29º75'S	57º08'W	62
	Bagé	31º33'S	54º10'W	242
	Pelotas	31º78'S	52º41'W	13

3.2 Levantamento dos dados meteorológicos

As séries históricas de dados meteorológicos utilizadas no presente estudo foram obtidos junto ao grupo de pesquisa da Rede “SCAF – Simulação de Cenários Agrícolas Futuros a partir de Projeções de Mudanças Climáticas Regionalizadas" (SCAF, 2013), componente da Plataforma de Mudanças Climáticas e financiado pelo MacroPrograma 1 – Grandes Desafios Nacionais, da Embrapa. Os dados originais

são provenientes do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2012).

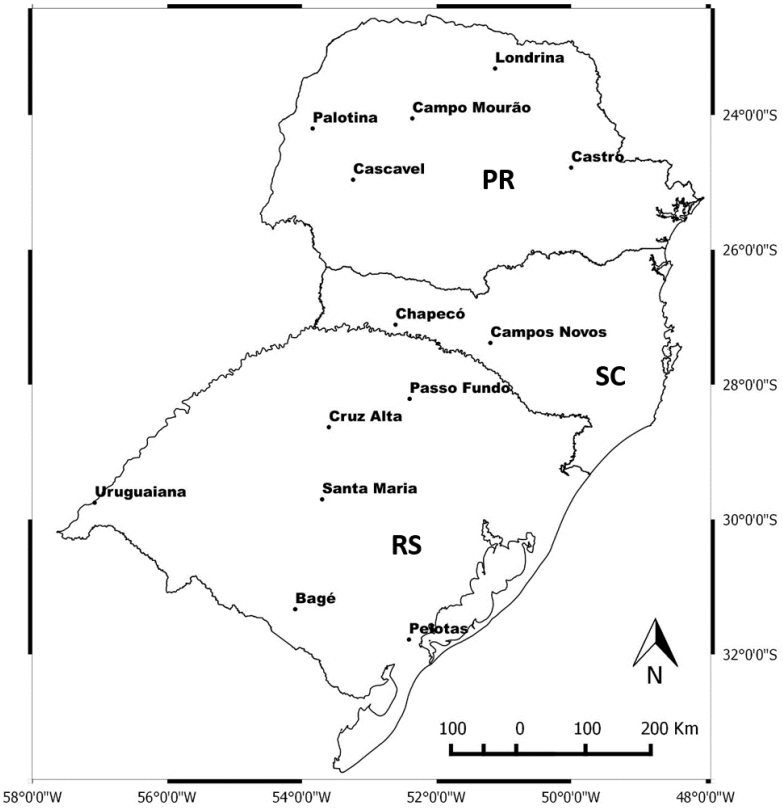

Figura 4 – Distribuição geográfica das localidades escolhidas para representar as principais regiões produtoras de soja da região Sul do Brasil: Campo Mourão, Cascavel, Castro, Londrina e Palotina, no estado do Paraná; Campos Novos e Chapecó, no estado de Santa Catarina; Bagé, Cruz Alta, Passo Fundo, Pelotas, Santa Maria e Uruguaiana, no estado do Rio Grande do Sul

Segundo nota disponível no site do projeto SCAF (SCAF, 2013)**,** no processo de importação dos dados do INMET, as séries foram corrigidas e as falhas preenchidas utilizando o algoritmo WGEN (RICHARDSON; WRIGHT, 1984). As séries disponibilizadas pelo INMET contam com dados de temperatura máxima, mínima e precipitação, na escala diária. A radiação solar global foi estimada com base no método de Bristow e Campbell (1984), identificado como tendo desempenho satisfatório para condições brasileiras por Conceição e Marin (2007). Em seguida, as séries foram uniformizadas para o período entre 1961 e 1991, uma vez que nem todas as estações tinham o mesmo período de dados. Para tanto, também foi utilizado o algoritmo WGEN (RICHARDSON; WRIGHT, 1984).

Complementando a base de dados meteorológicos, foram obtidos junto ao banco de dados meteorológicos do Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR, 2013) os dados meteorológicos (temperatura, insolação e chuva) diários das localidades de Cascavel e Palotina, para o período de 1973 a 2003, os quais não estavam disponíveis na base de dados da Rede SCAF.

Foi realizada análise de consistência nos dados meteorológicos de todas as séries históricas. A radiação solar foi estimada por meio da equação de Ball et al. (2004), adaptada de Hargreaves e Samani (1982):

$$Rs = [k * (1 + 2{,}7.10^{-5} * Alt) * (T_{max} - T_{\min})^{0,5}] * Ra$$

em que: Rs é radiação solar global (MJ m^{-2} d^{-1}); k é a constante local, cujo valor nominal é de 0,16 quando não houver valor definido (HARGREAVES; SAMANI, 1982); Alt é a altitude (metros); Tmax e Tmin são as temperaturas máxima e mínima (ºC); e Ra é o valor da radiação global extraterrestre (MJ m^{-2} d^{-1}).

3.3 Cenários climáticos futuros

Para cada localidade em estudo foram geradas mais oito séries resultantes do emprego das estimativas de dois modelos climáticos regionais (ETA e PRECIS), para dois cenários projetados (A2 e B2) e dois períodos D25 (2013-2043) e D55 (2041-2071), respectivamente (Figura 5). Dessa forma, foram obtidos nove cenários climáticos para cada local de estudo, sendo um com os dados da série atual e os outros oito decorrentes das projeções climáticas futuras.

As séries climáticas, contendo dados diários estimados para os cenários climáticos futuros, foram resultantes da adição de variações dos dados médios mensais (Deltas) de temperaturas máximas e mínimas, projetados pelos modelos ETA e PRECIS, aos valores diários da série atual. Os valores de “Delta” projetados pelos modelos ETA e PRECIS para os cenários climáticos futuros referem-se à diferença entre os dados médios mensais de cada mês projetados para os cenários B2 e A2 e os dados base do mês. Os valores dos “Deltas” foram gerados pela Rede SCAF (SCAF, 2013).

As séries climáticas futuras foram geradas a partir de séries históricas compostas por valores diários de radiação solar, temperatura máxima e mínima e precipitação pluviométrica, contemplando os anos entre 1973 e 2003 para as localidades de Cascavel e Palotina e entre 1961 e 1991 para as demais localidades. Desta forma, cada cenário futuro foi composto por uma série de dados climáticos diários suficiente para contemplar trinta safras de soja, sendo o período D25 (série de 2013 a 2043) e D55 (série de 2041 a 2071).

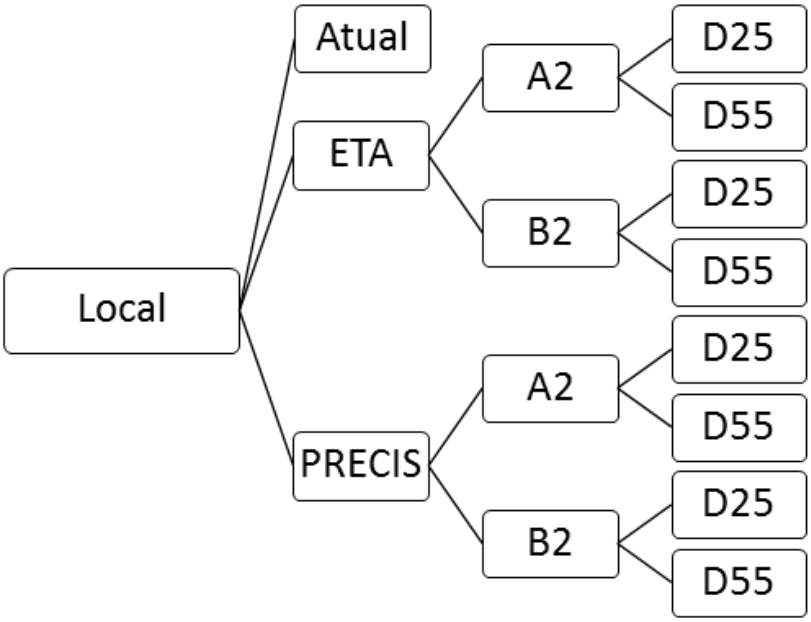

Figura 5 – Cenários das condições climáticas atuais e futuras empregadas no presente estudo para cada uma das localidades

Com relação aos valores de precipitação pluviométrica, devido à grande inconsistência dos deltas projetados pelos modelos (AMANAJÁS, 2008; KULKARNI et al., 2013), optou-se por utilizar os valores observados historicamente em todas as séries de dados climáticos projetados para o futuro. O mesmo procedimento foi adotado para os dados de radiação solar global.

Após a geração das séries de dados futuros, uma nova análise de consistência nos dados das séries climáticas projetadas para os oito cenários futuros foi realizada de modo a eliminar valores discrepantes de temperaturas máxima e mínima, especialmente para o caso em que $T_{max} \leq T_{min}$. Quando encontrados esses erros, os dados foram corrigidos pela média aritmética entre as observações dos valores dos dias anterior e posterior.

3.4 CSM-CropGro-Soybean / DSSAT – Modelo de simulação da cultura da soja

Para a realização do presente trabalho foi utilizado o modelo de simulação da cultura da soja, denominado CSM-CropGro-Soybean, desenvolvido para simular o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade de grãos da cultura da soja (BOOTE et al., 1998), o qual faz parte do sistema de suporte à decisão para transferência de agrotecnologia (*Decision Support System for Agrotechnology Transfer* – DSSAT), versão 4.5 (HOOGENBOOM et al., 2012).

A estrutura matemática geral deste modelo de simulação de cultura é baseada na equação diferencial de representação de balanços de massa apresentados por Wilkerson et al. (1985) para o SOYGRO, modelo original e precursor do modelo CROPGRO para a cultura da soja. Um conjunto de equações simula as relações fisiológicas envolvidas no ciclo de desenvolvimento da cultura por meio de processos interativos e apresenta, como resposta, as datas em que foram atingidos os diferentes estágios e as produtividades de grãos simuladas. As principais variáveis de entrada e saída do modelo são apresentadas nas Tabelas 3 e 4, respectivamente.

Foram realizadas simulações considerando-se o balanço de água no solo para a simulação da produtividade de grãos atingível e, também, desconsiderando o balanço hídrico (sem restrição hídrica) para a simulação da produtividade de grãos potencial.

As opções de manejo da cultura foram idênticas para todos os locais e cenários avaliados (condições climáticas atuais e futuras): semeadura no período recomendado para a cultura da soja, do último decêndio de outubro ao primeiro decêndio de novembro (de 21 de outubro a 10 de novembro); 35 plantas por m^2; espaçamento entre linhas de 0,45 m; profundidade de semeadura igual a 0,03 m; data da colheita coincidente com a maturação. Assim sendo, as diferenças de produtividade de grãos e de fenologia entre os diferentes cenários, atual e futuros, foram dependentes apenas das alterações climáticas nos valores de temperaturas máxima e mínima. Foram desconsideradas as limitações na produtividade de grãos por falta de nutrientes e as perdas decorrentes do ataque de insetos pragas e doenças.

Tabela 3 – Principais variáveis de entrada do modelo CSM-CropGro-Soybean do sistema DSSAT. Adaptado de Hoogenboom et al. (2003) e Boote et al. (1998)

Variável	Descrição	Unidade
CO2	Concentração atmosférica de dióxido de carbono	µmol mol^{-1}
DAYL	Duração do dia no dia da simulação	horas
EOP	Taxa de tranpiração potencial da planta	mm dia^{-1}
NO3	Nitrato na camada de solo	µg g^{-1}
PAR	Radiação fotossintéticamente ativa diária	moles m^2 d^{-1}
ST	Temperatura do solo na camada de solo	^oC
SW	Volume de água na camada de solo	cm^3 cm^{-3}
TAVG	Temperatura média diária	^oC
TMIN	Temperatura mínima do dia	^oC
TRWUP	Potencial de absorção de água pela raiz	cm dia^{-1}
YREND	Data da colheita	YYYYDDD
YRPLT	Data da semeadura	YYYYDDD

Tabela 4 – Principais variáveis de saída do modelo CSM-CropGro-Soybean do sistema DSSAT. Adaptado de Hoogenboom et al. (2003) e Boote et al. (1998)

SAIDA

Variável	Descrição	Unidade
CANHT	Altura do dossel	m
CWAM	Peso na maturação	kg ha^{-1}
HWAM	Rendimento na colheita	kg ha^{-1}
MDAPES	Ciclo da cultura (Semeadura - R8)	dias
MDATE	Data da colheita	YYYYDDD
RLV	Densidade de raiz por camada de solo	cm cm^{-3}
RWUMX	Máxima absorção de água pela raiz	cm^{-3} cm
UNO3	Taxa de absorção radicular de NO_3	kg ha dia^{-1}
XHLAI	Índice de área foliar	m2 m^{-2}

Tentando reproduzir de forma mais fiel o que ocorre no campo e reduzir as diferenças de manejo entre as diversas condições para o estabelecimento da cultura, a semeadura foi programada para ocorrer imediatamente no primeiro dia em que houvesse um mínimo de 40% de água disponível no solo, dentro do período recomendado para a cultura da soja, ou seja, dentro do período de 21 de outubro a 10 de novembro. Tal ação foi adotada de forma a aproximar-se ao que o produtor

pratica realmente na implantação das lavouras, reduzindo os erros nas simulações decorrentes da fixação da semeadura num dia pré específico, onde, muitas vezes, as condições não são recomendadas para a prática da semeadura, com isto, procurou-se garantir uma condição mínima de padronização da semeadura, para os diferentes cenários e safras estudados.

Foram estabelecidos três tipos de produtividade da soja: a Produtividade Potencial (PP), estimada pelo DSSAT sob condições de nenhuma restrição hídrica, nutricional ou fitossanitária; a Produtividade Atingível (PA), a qual foi estimada com o uso do modelo DSSAT a partir da penalização do desenvolvimento e da produtividade de grãos da cultura em função das condições hídricas observadas em cada um dos cenários avaliados; e a Produtividade Atingível Máxima (PAmax), a qual representa a máxima produtividade atingível estimada para cada um dos nove cenários avaliados.

Ao final foram utilizadas ao todo 117 séries climáticas no presente estudo, resultantes de nove cenários modelados, sendo o atual e oito para as projeções futuras, para cada uma das treze localidades avaliadas. Foram gerados arquivos climáticos anuais (*.wth), para cada local e condição climática avaliada, resultando em 3627 arquivos climáticos anuais. Os arquivos climáticos anuais contêm valores diários de radiação solar, temperatura máxima, temperatura mínima e precipitação pluviométrica, além da localização geográfica de cada ponto (latitude, longitude e altitude).

Além dos arquivos climáticos, procedeu-se também a confecção dos arquivos contendo a descrição dos perfis de solos característicos de cada região em estudo. Ao todo, foram descritos treze perfis de solos, contemplando os perfis mais característicos de cada uma das treze localidades de estudo.

Por último, foram definidos os coeficientes genéticos das cultivares representativas e adaptadas para cada região edafoclimática (REC) de estudo (RECs 101, 102, 103 e 201), observando-se a Regionalização dos testes de Valor de Cultivo e Uso e da indicação de cultivares de soja - terceira aproximação (KASTER; FARIAS, 2012).

3.5 Definição dos perfis de solo

Dentro do módulo de solo do DSSAT foram cadastrados diferentes tipos de solos, característicos e representativos das regiões em estudo, incluindo a classificação taxonômica, propriedades físicas e químicas em diferentes profundidades e, principalmente, a caracterização de suas principias propriedades hídricas.

Para tanto, foram utilizadas informações e descrições de perfis de solo já existentes nas bases de dados da Embrapa Soja e da Embrapa Trigo, as quais foram complementadas com informações provenientes do banco de dados do projeto RADAMBRASIL (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2013), com parâmetros hídricos de retenção de água no solo ajustados por equações de pedotransferência, com base no estudo para a região em análise conduzido por Reichert et al. (2009), por meio das seguintes equações:

$$\theta_{CC}\ (10kPa) = 0{,}037 + 0{,}38\ (Argila + Silte)$$

$$\theta_{PMP}\ (1500\ kPa) = 0{,}236 + 0{,}045 \times Argila - 0{,}21 \times Areia$$

em que: θ_{CC} é a capacidade de campo ($m^3\ m^{-3}$) e θ_{PMP} é o ponto de murcha permanente ($m^3\ m^{-3}$). Na Tabela 5 são apresentadas as classificações dos solos característicos de cada região de estudo com suas respectivas granulometria média para todo o perfil do solo.

Tabela 5 – Classificação dos solos característicos de cada região estudada. Fonte: EMBRAPA (2009) e RADAMBRASIL (IBGE, 2013)

Estado	Localidades	Classificação do solo	Argila	Silte	Areia
			%		
PR	Londrina	Latossolo Vermelho Eutroférrico	75	18	7
	Campo Mourão	Latossolo Vermelho Distrófico Típico	85	12	3
	Palotina	Nitossolo Vermelho	80	11	9
	Castro	Latossolo Vermelho Distrófico	68	13	19
	Cascavel	Latossolo Roxo Distrófico	79	12	9
SC	Chapecó	Latossolo Vermelho Distroférrico	70	15	15
	Campos Novos	Latossolo Bruno Distrófico	75	25	0
RS	Passo Fundo	Latossolo Bruno Alumínico	2	5	93
	Cruz Alta	Latossolo Vermelho Distrófico Típico	64	9	27
	Santa Maria	Argilssolo Bruno Acinzentado	46	51	3
	Uruguaiana	Planossolo Háplico Eutrófico	35	51	14
	Bagé	Planossolo Háplico Eutrófico	42	34	24
	Pelotas	Argilssolo Bruno Acinzentado	43	18	39

3.6 Cultivares

Para representar as cultivares adaptadas às diferentes regiões de estudo, optou-se, primeiramente, por agrupar os locais de estudo, obedecendo a regionalização dos testes de Valor de Cultivo e Uso e da indicação de cultivares de soja proposta por Kaster e Farias (2012), os quais definem as diferentes regiões edafoclimáticas para registro e proteção de cultivares de soja. Em função disso, foram estabelecidas cinco macrorregiões sojícolas (MRS) e vinte regiões edafoclimáticas (REC) distintas para a pesquisa e a indicação de cultivares de soja.

Desta forma, os treze locais foram agrupados por regiões edafoclimáticas (REC), contemplando então quatro RECs: 101; 102; 103 e 201 (Tabela 6). Para cada uma das RECs, foi empregada uma cultivar, adaptada e representativa, com os devidos coeficientes genéticos ajustados.

Tabela 6 – Regiões edafoclimáticas (REC) e as respectivas localidades que cada uma abrange juntamente com as cultivares hipotéticas recomendadas para cada uma delas

Localidade	Região Edafoclimática	Cultivar
Bagé - RS Pelotas - RS Santa Maria - RS Uruguaiana - RS	101	EBR 101
Campos Novos - SC Chapecó - SC Cruz Alta - RS Passo Fundo - RS	102	EBR 102
Castro - PR	103	EBR 103
Campo Mourão - PR Cascavel - PR Londrina - PR Palotina - PR	201	EBR 201

Como não se dispunha de dados experimentais suficientes para o correto ajuste de coeficientes genéticos em todas as regiões de estudo e cientes de que os genótipos de soja são altamente específicos e adaptados para determinados locais, optou-se por empregar coeficientes genéticos disponíveis na literatura, procedendo-se pequenos ajustes para torná-los mais representativos da realidade.

Desta forma, para o ajuste dos coeficientes das cultivares recomendadas para cada local, foram considerados os coeficientes genéticos propostos por Dallacort et al. (2005) e Rodrigues et al. (2012). Porém, os coeficientes apresentados no estudo de Dallacort et al. (2005), no qual foram ajustados coeficientes para diversas cultivares Coodetec (CD) e indicados para o cultivo no sul do Brasil, foram os que mostraram-se mais coerentes. Apesar dos resultados bastante satisfatórios obtidos com os coeficientes propostos por Dallacort et al. (2005), principalmente para condições com restrição hídrica, alguns ajustes nesses coeficientes genéticos se fizeram necessários a fim de adequar a duração do ciclo estimado à fenologia atualmente característica dos genótipos de soja adaptados às diferentes regiões edafoclimáticas brasileiras.

Ao final, foram definidos quatro conjuntos de coeficientes genéticos, os quais caracterizaram quatro cultivares hipotéticas (EBR101, EBR102, EBR103 e EBR201), de ciclo precoce, uma para cada um dos RECs em estudo (Tabela 7), com desempenho produtivo e ciclo característico dos genótipos hoje recomendados para tais regiões. Na Tabela 7 são apresentados os coeficientes genéticos ajustados e utilizados para definir as cultivares de soja recomendadas para cada região edafoclimática.

3.7 Análise de dados

Análises estatísticas foram aplicadas aos dados médios de produtividades de grãos de soja. Foram determinadas as médias das produtividades potenciais (PP) e atingível (PA) para cada cenário, e também os respectivos coeficientes de variação (CV%). Foram aplicados os testes de diferenças de médias – teste Tukey a 5% de variância – comparando as estimativas dos diferentes cenários para cada município, utilizando o software SISVAR (FERREIRA, 2011). Por fim, foram elaborados gráficos BoxPlot para representar os diferentes cenários, gerados para cada uma das localidades, utilizando o programa STATISTICA, da StatSoft, versão 7.

Além disso, foi determinado o risco climático para o cenário atual e para cada um dos cenários futuros por meio da relação entre PA e PP, com base nas produtividades de grãos anuais para os trinta anos de safra. O mesmo procedimento foi empregado para a relação PA e PAmax. As probabilidades de risco climático, ou

seja, de [1-(PA/PP)] ≥ 0,35 e de [1-(PA/PAmax)] ≥ 0,35 foram calculadas e classificadas de acordo com a Tabela 8.

Tabela 7 – Coeficientes genéticos das cultivares de soja recomendadas para cada região edafoclimática na região Sul do Brasil, adaptado de Dallacort et al. (2005)

	Cultivares			
Coeficientes	EBR101	EBR102	EBR103	EBR201
CSDL	13,2	12,9	12,9	12,5
PPSEN	0,310	0,303	0,303	0,303
EM-FL	30	20	20	20
FL-SH	9	8	8	8
FL-SD	16,0	13,0	13,0	12,4
SD-PM	32	25	25	25
FL-LF	23	19	18	21
LFMAX	1,60	1,20	1,03	1,03
SLAVR	350	350	350	350
SIZLF	180	180	180	180
XFRT	1,0	1,0	1,0	1,0
WTPSD	0,172	0,150	0,150	0,150
SFDUR	24,0	20,0	20,0	18,0
SDPDV	2,05	2,05	2,05	2,05
PODUR	9,0	8,0	8,0	8,0

CSDL = duração crítica do dia acima do qual o processo de desenvolvimento reprodutivo não é afetado (horas); PPSEN = relação relativa do desenvolvimento para fotoperíodo com o tempo (1/hora); EM-FL = Período entre a emergência da planta e o aparecimento da primeira flor (dias); FL-SH = Período entre o aparecimento da primeira flor e a primeira vagem (dias); FL-SD = Período entre o aparecimento da primeira flor e o início da formação da semente (dias); SD-PM = Período entre o início da formação da semente e a maturidade fisiológica (dias); FL-LF = Período entre o aparecimento da primeira flor e final da expansão foliar (dias); LFMAX = Taxa máxima de fotossíntese da folha na temperatura de 30ºC e 350 ppm de CO_2 (mg CO_2 m^{-2} s^{-1}); SLAVARN = Área foliar específica sob condições padrão de crescimento (cm^2/g); SIZLF = Tamanho máximo da folha completamente expandida (cm^2); XFRT = Máxima fração do crescimento diário que é particionada entre a semente mais a vagem; WTPSD = Peso máximo por semente (g); SFDUR = Duração do período de enchimento das sementes nas vagens, sob condições de crescimento padrão (dias); SDPDV = média de sementes por vagem, sob condições de crescimento padrão; PODUR = Tempo necessário para a cultivar atingir a carga final de vagens (dias)

Tabela 8 – Classes de risco climático para a cultura da soja em função da probabilidade de ocorrência de quebra relativa de produtividade maior ou igual a 0,35

Probabilidade	Risco Climático
≥ 80%	Risco Muito Alto
60-79%	Risco Alto
40-59%	Risco Moderado
≤ 40%	Baixo Risco

3.8 Espacialização dos dados de produtividade da soja

A espacialização e a confecção dos mapas das produtividades potencial (PP), atingível (PA), bem como das produtividades relativas (PA/PP e PA/PAmax) e dos riscos climáticos, associados a cada um dos nove cenários avaliados, foram feitas por meio do software QGIS (SHERMAN et al., 2012), empregando-se o método de interpolação denominado de “inverso do quadrado da distância”.

3.9 Estratégias para minimização dos impactos das mudanças climáticas

Como ações de manejo da cultura da soja para amenizar os impactos das mudanças climáticas na produtividade de grãos da cultura da soja, foram realizadas análises de sensibilidade pelo sistema DSSAT, nas quais foram simulados o desempenho da cultura em diferentes épocas semeaduras, sendo duas antes e duas após a época recomendada para a cultura da soja, ou seja, a primeira semeadura (S1) no decêndio compreendido de 1 a 10 de outubro, a segunda (S2) no período de 11 a 20 de outubro, a terceira (S3) no período de 11 a 20 de novembro e a quarta semeadura (S4) no período de 21 a 30 de novembro.

De posse de todas as projeções de produtividade de grãos estimadas para os diferentes cenários, foi então definido o cenário mais drástico (A2 ou B2 x ETA ou PRECIS) para cada série climática, como aquele que promove a menor média da estimativa de produtividade atingível de grãos, para cada uma das localidades estudadas.

Para cada cenário mais drástico foi feito então a análise de sensibilidade avaliando-se as diferentes épocas de semeadura. Dessa forma, foram avaliadas quatro distintas épocas de semeaduras e simuladas as produtividades de grãos com o propósito de indicar alternativas para minimizar os impactos das mudanças climáticas para os cenários avaliados. As épocas que propiciaram melhor desempenho da produtividade da soja em relação à semeadura na época recomendada (S0), poderão se constituir em recomendação alternativa de épocas de semeadura, de forma a minimizar os impactos decorrentes das mudanças climáticas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Dados climáticos

Nas Tabelas 9, 10 e 11 são apresentados os valores médios mensais de temperaturas máximas e mínimas observados nos treze locais de estudo bem como as projeções médias mensais de tais variáveis para os dois períodos futuros (D25 e D55), estimadas pelos modelos ETA e PRECIS, para os cenários A2 e B2.

Tabela 9 – Médias mensais de temperatura máxima (Tmax) e temperatura mínima (Tmin) do ar (ºC) observadas e projetadas pelos modelos ETA (E) e Precis (P), para os cenários de emissão de gases de efeito estufa A2 e B2, para os dois períodos (D25 e D55) analisados, para as localidades do Estado do Paraná

(continua)

	Histórico		E A2 D25		E A2 D55		E B2 D25		E B2 D55		P A2 D25		P A2 D55		P B2 D25		P B2 D55	
LOND	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin
	℃																	
JAN	29,9	19,4	31,9	21,3	33,4	22,7	31,9	20,8	31,9	21,7	31,6	21,1	32,6	22,1	31,1	20,5	31,8	21,2
FEV	30,2	19,5	31,8	21,1	33,3	22,3	31,6	20,7	32,3	21,3	32,2	21,3	33,5	22,4	31,6	20,8	32,4	21,6
MAR	29,9	18,6	32,0	20,7	33,3	21,8	30,9	19,9	32,2	21,0	31,8	20,6	32,9	21,8	31,2	20,0	31,9	20,8
ABR	28,0	16,0	29,6	17,3	31,3	18,8	28,2	17,0	29,5	18,0	29,9	18,0	31,0	19,2	29,3	17,4	30,1	18,3
MAI	25,1	13,1	27,2	15,1	28,9	16,8	26,2	14,7	27,0	15,6	26,6	15,0	27,5	16,2	26,2	14,6	26,8	15,5
JUN	23,4	11,6	26,1	13,5	26,1	14,5	23,9	12,2	24,4	13,2	24,7	13,2	25,4	14,1	24,3	12,9	24,8	13,7
JUL	24,0	11,2	25,7	12,6	27,2	14,1	24,9	12,2	25,4	12,8	25,5	13,0	26,4	14,1	25,1	12,4	25,5	13,2
AGO	25,8	12,4	28,8	14,9	30,2	16,3	27,2	14,0	27,8	14,8	27,5	14,3	28,6	15,4	26,9	13,9	27,6	14,7
SET	26,9	14,2	29,2	16,2	30,9	17,7	29,2	16,4	30,1	17,8	29,6	16,5	31,2	17,8	28,7	15,7	29,8	16,6
OUT	28,0	15,9	31,2	18,4	33,7	20,5	29,5	17,3	30,1	18,3	29,6	17,5	30,6	18,4	30,1	17,5	31,3	18,5
NOV	29,3	17,4	30,9	19,0	32,3	20,5	30,3	18,4	31,2	19,6	31,1	19,1	32,1	20,2	30,9	18,8	31,9	19,6
DEZ	29,3	18,6	32,7	20,3	32,7	21,9	30,7	20,1	31,2	20,8	30,8	20,1	31,7	21,0	30,5	19,7	31,2	20,4
	Histórico		E A2 D25		E A2 D55		E B2 D25		E B2 D55		P A2 D25		P A2 D55		P B2 D25		P B2 D55	
CMOU	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin
	℃																	
JAN	29,9	18,9	31,9	20,8	33,5	22,2	31,8	20,2	31,8	21,1	31,6	20,5	32,6	21,5	31,0	19,9	31,6	20,6
FEV	30,0	18,7	31,7	20,4	33,1	21,7	31,2	19,9	31,9	20,6	32,0	20,4	33,2	21,4	31,3	20,0	32,1	20,7
MAR	29,6	17,6	31,8	19,7	33,1	20,9	30,5	18,8	31,9	20,0	31,4	19,6	32,5	20,8	30,9	19,0	31,6	19,9
ABR	27,7	15,2	29,3	16,7	30,9	18,3	28,0	16,2	29,1	17,2	29,7	17,4	30,8	18,6	29,0	16,8	29,8	17,7
MAI	24,4	12,5	26,5	14,5	28,0	16,3	25,7	14,0	26,4	14,9	26,0	14,4	26,9	15,6	25,4	14,0	26,0	14,9
JUN	22,7	10,8	25,3	12,6	25,3	13,7	23,1	11,5	23,8	12,3	24,1	12,5	24,9	13,6	23,6	12,3	24,2	13,2
JUL	23,2	10,2	24,7	11,6	26,4	13,3	23,9	11,3	24,5	12,0	24,8	12,2	25,8	13,4	24,5	11,7	24,7	12,5
AGO	24,8	11,6	27,7	14,4	29,3	16,0	26,0	13,2	26,8	14,0	26,5	13,5	27,6	14,7	25,8	13,1	26,5	14,0
SET	25,9	13,4	28,0	15,4	29,8	17,1	28,1	15,9	29,2	17,3	28,5	15,7	30,1	17,1	27,5	15,0	28,5	15,9
OUT	27,9	15,5	30,8	18,0	33,2	20,2	29,2	16,8	29,9	17,9	29,5	17,1	30,5	18,0	29,8	17,1	30,9	18,0
NOV	29,1	16,9	30,4	18,2	31,8	19,7	30,0	17,8	31,0	18,9	30,9	18,6	31,9	19,6	30,7	18,2	31,6	19,0
DEZ	29,5	18,3	32,9	19,8	32,9	21,5	30,8	19,7	31,4	20,4	31,1	19,7	32,0	20,6	30,6	19,4	31,3	20,0

Tabela 9 – Médias mensais de temperatura máxima (Tmax) e temperatura mínima (Tmin) do ar (ºC) observadas e projetadas pelos modelos ETA (E) e Precis (P), para os cenários de emissão de gases de efeito estufa A2 e B2, para os dois períodos (D25 e D55) analisados, para as localidades do Estado do Paraná

(conclusão)

	Histórico		E A2 D25		E A2 D55		E B2 D25		E B2 D55		P A2 D25		P A2 D55		P B2 D25		P B2 D55	
PALO	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin
	ºC																	
JAN	32,1	20,5	33,9	22,5	35,6	23,9	34,0	21,8	34,0	22,7	34,0	22,1	35,2	23,1	33,5	21,6	34,4	22,3
FEV	31,9	20,2	33,7	21,8	35,1	23,2	32,9	21,5	33,8	22,2	34,1	21,9	35,4	22,9	33,6	21,5	34,6	22,2
MAR	31,8	19,3	34,0	21,5	35,4	22,7	32,4	20,4	34,1	21,9	34,0	21,4	35,3	22,6	33,3	20,7	34,2	21,6
ABR	29,3	16,7	30,9	18,3	32,6	19,9	29,6	17,6	30,6	18,7	31,6	18,9	32,9	20,2	30,8	18,2	31,7	19,2
MAI	25,4	13,2	27,5	15,3	28,9	17,1	26,6	14,7	27,3	15,7	27,1	15,0	28,1	16,1	26,5	14,6	27,2	15,4
JUN	23,8	11,7	26,3	13,4	26,3	14,5	24,0	12,4	24,6	13,2	25,3	13,2	26,2	14,1	24,9	13,0	25,5	13,7
JUL	24,2	10,6	25,8	11,9	27,6	13,6	24,8	11,7	25,4	12,3	26,0	12,4	27,0	13,4	25,6	12,0	25,9	12,8
AGO	26,1	11,9	29,1	14,6	30,8	16,0	27,3	13,4	28,0	14,2	28,1	13,8	29,3	14,9	27,3	13,3	28,0	14,1
SET	27,2	14,0	29,3	16,0	31,2	17,7	29,5	16,5	30,5	17,9	30,1	16,3	31,8	17,7	29,0	15,5	30,1	16,4
OUT	29,5	16,8	32,5	19,3	34,9	21,4	30,8	18,1	31,5	19,2	31,3	18,4	32,4	19,4	31,6	18,4	32,8	19,4
NOV	30,9	18,1	32,2	19,5	33,4	20,8	31,6	18,9	32,7	20,2	32,8	19,9	34,0	21,0	32,6	19,4	33,6	20,2
DEZ	31,5	19,6	34,8	21,1	34,8	22,8	32,7	21,1	33,4	21,9	33,4	21,2	34,5	22,2	32,9	20,8	33,8	21,5
	Histórico		E A2 D25		E A2 D55		E B2 D25		E B2 D55		P A2 D25		P A2 D55		P B2 D25		P B2 D55	
CAST	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin
	ºC																	
JAN	26,7	16,0	28,3	17,9	29,5	19,3	28,6	17,4	28,6	18,4	28,1	17,4	29,0	18,3	27,4	16,9	27,9	17,5
FEV	26,9	16,2	28,2	17,9	29,5	19,2	27,7	17,3	28,4	17,8	28,4	17,5	29,3	18,3	27,8	17,1	28,3	17,7
MAR	26,1	15,2	27,8	17,4	28,9	18,5	27,0	16,5	28,0	17,7	27,5	16,9	28,4	17,8	27,0	16,4	27,6	17,1
ABR	23,9	12,5	25,2	13,6	26,5	15,1	24,2	13,4	25,0	14,3	25,5	14,1	26,4	15,1	25,0	13,7	25,6	14,4
MAI	21,5	8,9	23,1	10,6	24,4	12,3	22,7	10,6	23,2	11,3	22,8	10,5	23,5	11,5	22,3	10,1	22,9	10,9
JUN	20,2	7,2	22,5	9,0	22,5	10,0	20,6	7,8	21,4	8,7	21,3	8,6	22,0	9,5	20,9	8,5	21,4	9,2
JUL	20,4	6,9	21,9	8,4	23,4	9,9	21,0	7,9	21,9	8,7	21,7	8,5	22,5	9,5	21,4	8,0	21,6	8,7
AGO	21,6	7,8	24,2	10,4	25,7	11,8	22,8	9,3	23,5	10,2	23,1	9,5	23,9	10,4	22,6	9,1	23,1	9,9
SET	22,4	10,1	24,3	11,8	26,0	13,4	24,2	12,1	25,3	13,5	24,7	11,9	26,0	13,1	23,7	11,3	24,5	12,0
OUT	23,6	12,0	26,2	14,3	28,4	16,3	24,7	13,1	25,5	14,2	24,9	13,3	25,7	14,0	25,1	13,3	26,0	14,0
NOV	25,4	13,6	26,6	14,9	27,8	16,3	26,0	14,5	27,1	15,7	26,9	15,1	27,8	15,9	26,6	14,7	27,4	15,3
DEZ	25,7	15,1	28,5	16,6	28,5	18,2	26,7	16,4	27,4	17,3	26,9	16,3	27,6	17,0	26,6	16,0	27,1	16,5
	Histórico		E A2 D25		E A2 D55		E B2 D25		E B2 D55		P A2 D25		P A2 D55		P B2 D25		P B2 D55	
CASC	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin
	ºC																	
JAN	28,7	19,1	30,5	21,0	32,0	22,3	30,4	20,4	30,4	21,3	30,2	20,6	31,2	21,6	29,5	20,1	30,0	20,7
FEV	28,5	18,9	30,1	20,6	31,5	21,8	29,4	20,0	30,1	20,6	30,2	20,4	31,3	21,3	29,6	20,0	30,2	20,7
MAR	28,5	18,3	30,5	20,4	31,8	21,5	29,2	19,4	30,6	20,7	30,1	20,2	31,1	21,3	29,5	19,6	30,2	20,3
ABR	26,2	16,1	27,6	17,6	29,2	19,1	26,5	17,2	27,5	18,1	27,9	18,1	29,0	19,3	27,3	17,5	27,9	18,4
MAI	22,6	13,2	24,5	15,2	25,8	17,0	23,7	14,8	24,4	15,6	24,0	15,0	24,8	16,1	23,4	14,6	23,9	15,4
JUN	20,8	11,9	23,3	13,6	23,3	14,7	21,2	12,6	21,9	13,4	22,0	13,3	22,8	14,2	21,6	13,1	22,1	13,9
JUL	21,0	11,2	22,6	12,7	24,2	14,3	21,6	12,3	22,4	13,0	22,5	13,0	23,5	14,0	22,2	12,6	22,3	13,4
AGO	22,9	12,5	25,8	15,4	27,4	17,0	24,1	14,1	24,9	14,9	24,6	14,3	25,6	15,4	23,8	13,8	24,4	14,6
SET	24,2	13,6	26,3	15,5	28,1	17,3	26,3	16,0	27,4	17,5	26,5	15,7	27,9	17,0	25,5	15,0	26,3	15,9
OUT	26,6	15,9	29,2	18,3	31,5	20,5	27,8	17,2	28,4	18,3	28,0	17,4	28,8	18,2	28,0	17,4	28,9	18,2
NOV	27,9	17,0	29,1	18,4	30,3	19,8	28,6	17,9	29,5	19,0	29,3	18,7	30,2	19,6	29,1	18,2	29,8	18,9
DEZ	28,4	18,6	31,5	20,0	31,5	21,6	29,6	20,0	30,1	20,8	29,8	20,0	30,7	20,8	29,3	19,6	29,9	20,1

LOND: Londrina, CMOU: Campo Mourão, PALO: Palotina, CAST: Castro, CASC: Cascavel

Tabela 10 – Médias mensais de temperatura máxima (Tmax) e temperatura mínima (Tmin) do ar (ºC) observadas e projetadas pelos modelos ETA (E) e Precis (P), para os cenários de emissão de gases de efeito estufa A2 e B2, para os dois períodos (D25 e D55) analisados, para as localidades do Estado de Santa Catarina

	Histórico		E A2 D25		E A2 D55		E B2 D25		E B2 D55		P A2 D25		P A2 D55		P B2 D25		P B2 D55	
CHAP	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin
										ºC								
JAN	29,0	18,7	30,6	20,6	32,0	21,8	30,5	20,2	30,5	21,0	31,0	20,5	32,1	21,6	30,2	19,9	30,9	20,6
FEV	28,6	18,6	30,1	20,2	31,1	21,3	29,1	19,6	29,8	20,3	30,5	20,2	31,6	21,2	29,8	19,8	30,6	20,6
MAR	28,0	17,5	29,7	19,6	30,8	20,6	28,5	18,5	29,7	20,0	29,9	19,5	31,0	20,7	29,3	19,0	30,2	19,8
ABR	24,7	14,3	25,9	15,8	27,0	17,2	24,9	15,3	25,6	16,2	26,4	16,4	27,5	17,6	25,9	15,9	26,6	16,8
MAI	21,6	12,1	23,1	13,8	24,2	15,3	22,5	13,7	23,1	14,4	22,8	13,8	23,5	14,8	22,4	13,4	22,9	14,1
JUN	19,9	10,7	22,0	12,1	22,0	13,3	20,0	11,2	20,6	12,0	21,0	12,1	21,7	12,9	20,6	11,8	21,0	12,4
JUL	20,4	10,8	22,3	12,6	23,8	14,2	20,7	11,9	21,7	12,7	22,0	12,6	22,9	13,6	21,7	12,2	21,5	13,0
AGO	22,5	12,2	25,2	15,1	26,9	16,6	23,5	13,6	24,3	14,6	24,2	13,9	25,2	14,9	23,5	13,4	24,1	14,2
SET	22,8	12,4	24,6	14,1	26,4	15,8	24,5	14,5	25,8	16,0	25,1	14,5	26,4	15,8	24,1	13,8	24,9	14,6
OUT	25,4	14,3	27,5	16,4	29,5	18,3	26,3	15,2	27,0	16,3	27,0	15,7	28,0	16,6	26,9	15,7	27,8	16,6
NOV	26,7	15,5	27,9	16,8	28,9	18,0	27,1	16,2	27,9	17,2	28,6	17,3	29,8	18,4	28,3	16,8	29,2	17,6
DEZ	28,5	17,8	31,0	19,3	31,0	20,7	29,7	19,3	30,2	20,0	30,3	19,4	31,4	20,3	29,7	19,0	30,5	19,7
	Histórico		E A2 D25		E A2 D55		E B2 D25		E B2 D55		P A2 D25		P A2 D55		P B2 D25		P B2 D55	
CNOV	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin
										ºC								
JAN	26,8	16,2	28,2	18,1	29,5	19,3	28,4	17,8	28,4	18,6	29,0	18,2	30,4	19,4	28,2	17,6	29,1	18,4
FEV	26,6	16,3	28,1	18,0	29,1	19,2	27,1	17,4	27,9	18,0	28,7	18,2	30,0	19,3	28,1	17,8	29,0	18,7
MAR	25,8	15,4	27,4	17,4	28,5	18,6	26,4	16,5	27,6	18,1	27,9	17,6	29,1	19,0	27,5	17,1	28,5	18,2
ABR	22,7	12,3	23,8	13,7	24,9	15,1	23,0	13,4	23,6	14,2	24,8	14,6	26,0	15,9	24,3	14,1	25,2	15,1
MAI	20,0	10,0	21,4	11,5	22,4	13,0	20,9	11,7	21,5	12,3	21,6	12,1	22,5	13,3	21,2	11,6	21,9	12,6
JUN	18,3	8,7	20,2	10,1	20,2	11,3	18,3	9,3	19,1	10,1	19,7	10,5	20,6	11,5	19,3	10,2	20,0	11,1
JUL	18,7	8,4	20,5	10,2	22,0	11,7	19,1	9,5	20,3	10,3	20,5	10,5	21,6	11,7	20,2	10,1	20,4	11,1
AGO	20,0	9,2	22,7	12,0	24,2	13,4	21,0	10,7	22,0	11,6	22,0	11,2	23,2	12,5	21,4	10,8	22,3	11,8
SET	20,8	10,2	22,4	11,9	24,3	13,6	22,3	12,1	23,9	13,7	23,3	12,6	24,8	14,0	22,5	11,9	23,5	13,0
OUT	22,8	11,9	24,7	13,9	26,5	15,7	23,5	12,7	24,3	13,9	24,7	13,6	25,9	14,6	24,5	13,6	25,6	14,7
NOV	24,7	13,4	25,7	14,7	26,7	15,8	25,0	14,1	25,9	15,2	26,9	15,4	28,2	16,6	26,5	15,0	27,6	15,9
DEZ	26,2	15,2	28,7	16,7	28,7	18,1	27,4	16,5	28,0	17,3	28,3	16,9	29,5	17,9	27,8	16,5	28,7	17,3

CHAP: Chapecó, CNOV: Campos Novos

Tabela 11 – Médias mensais de temperatura máxima (Tmax) e temperatura mínima (Tmin) do ar (ºC) observadas e projetadas pelos modelos ETA (E) e Precis (P), para os cenários de emissão de gases de efeito estufa A2 e B2, para os dois períodos (D25 e D55) analisados, para as localidades do Estado do Rio Grande do Sul

(continua)

	Histórico		E A2 D25		E A2 D55		E B2 D25		E B2 D55		P A2 D25		P A2 D55		P B2 D25		P B2 D55	
PFUN	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin
	ºC																	
JAN	28,3	17,7	29,7	19,6	31,0	20,8	29,7	19,3	29,7	20,0	30,6	19,6	32,0	20,8	29,8	19,0	30,8	19,8
FEV	28,0	17,5	29,5	19,2	30,4	20,4	28,5	18,5	29,1	19,2	30,2	19,3	31,6	20,4	29,5	18,9	30,5	19,8
MAR	26,8	16,4	28,6	18,4	29,5	19,4	27,4	17,5	28,6	19,0	29,0	18,5	30,3	19,7	28,5	17,9	29,4	18,9
ABR	23,8	13,4	24,9	14,9	26,1	16,4	24,0	14,3	24,7	15,2	25,8	15,5	27,1	16,8	25,2	15,0	26,1	16,0
MAI	20,9	11,0	22,4	12,6	23,3	13,9	21,9	12,7	22,5	13,4	22,4	12,8	23,3	13,8	22,1	12,4	22,8	13,2
JUN	18,6	9,3	20,5	10,5	20,5	11,7	18,5	9,7	19,3	10,5	20,0	10,7	20,8	11,5	19,5	10,4	20,1	11,0
JUL	18,8	9,1	20,8	11,1	22,2	12,6	19,1	10,1	20,4	11,1	20,7	10,9	21,7	12,0	20,3	10,6	20,3	11,4
AGO	20,3	10,0	23,0	12,8	24,5	14,2	21,2	11,4	22,1	12,4	22,1	11,7	23,2	12,7	21,5	11,2	22,2	12,0
SET	21,7	11,5	23,3	13,1	25,1	14,8	23,2	13,3	24,7	14,8	24,0	13,6	25,4	14,9	23,3	13,0	24,2	13,9
OUT	24,0	12,9	25,6	14,9	27,4	16,6	24,7	13,7	25,4	14,9	25,7	14,5	26,8	15,4	25,5	14,5	26,5	15,4
NOV	26,1	14,6	27,1	15,9	28,1	17,0	26,4	15,3	27,2	16,4	28,3	16,5	29,6	17,6	27,8	16,0	28,9	16,9
DEZ	27,8	16,4	30,2	18,0	30,2	19,4	29,1	17,9	29,6	18,6	30,0	18,1	31,3	19,1	29,4	17,7	30,3	18,4
	Histórico		E A2 D25		E A2 D55		E B2 D25		E B2 D55		P A2 D25		P A2 D55		P B2 D25		P B2 D55	
CRAL	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin
	ºC																	
JAN	29,3	18,1	30,7	19,9	31,9	21,1	30,5	19,6	30,5	20,3	31,4	19,9	32,7	20,9	30,7	19,3	31,5	20,0
FEV	28,9	18,2	30,4	19,9	31,3	21,0	29,3	19,1	29,9	19,8	31,1	19,8	32,3	20,9	30,3	19,4	31,2	20,1
MAR	27,7	16,9	29,3	19,0	30,2	20,0	28,0	18,0	29,2	19,5	29,7	18,9	30,9	20,1	29,1	18,4	29,9	19,2
ABR	24,9	13,8	26,0	15,4	27,2	16,8	25,0	14,7	25,7	15,6	26,7	15,9	27,9	17,1	26,1	15,4	26,8	16,3
MAI	21,9	11,8	23,4	13,4	24,2	14,5	22,7	13,4	23,4	14,1	23,2	13,3	24,0	14,2	22,9	12,9	23,5	13,7
JUN	19,3	9,6	21,2	10,7	21,2	11,9	19,1	9,9	19,8	10,7	20,6	10,8	21,3	11,6	20,1	10,4	20,5	10,9
JUL	19,3	9,3	21,3	11,4	22,5	12,8	19,5	10,3	20,8	11,3	21,0	11,0	22,0	11,9	20,7	10,7	20,5	11,5
AGO	21,0	10,2	23,5	12,9	25,0	14,3	21,7	11,5	22,5	12,6	22,6	11,7	23,6	12,7	22,0	11,3	22,6	12,0
SET	22,2	11,3	23,6	12,9	25,5	14,5	23,4	12,9	24,8	14,4	24,2	13,2	25,5	14,4	23,5	12,6	24,3	13,4
OUT	24,7	13,1	26,3	14,9	27,9	16,6	25,4	13,9	26,0	15,1	26,3	14,6	27,2	15,5	26,1	14,5	26,9	15,4
NOV	26,9	15,3	27,9	16,6	28,8	17,6	27,3	15,9	28,0	17,0	28,9	17,0	30,1	18,1	28,4	16,5	29,3	17,3
DEZ	29,0	17,4	31,3	18,9	31,3	20,3	30,3	18,8	30,8	19,6	31,0	18,9	32,2	19,9	30,4	18,5	31,2	19,1
	Histórico		E A2 D25		E A2 D55		E B2 D25		E B2 D55		P A2 D25		P A2 D55		P B2 D25		P B2 D55	
STMA	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin
	ºC																	
JAN	30,3	19,2	31,6	21,1	32,7	22,3	30,8	20,7	30,8	21,3	32,0	20,7	33,1	21,5	31,3	20,1	31,9	20,6
FEV	29,9	19,3	31,3	21,0	32,1	22,2	30,1	20,2	30,8	21,0	31,6	20,7	32,6	21,5	30,8	20,2	31,4	20,7
MAR	28,1	17,6	29,3	19,6	30,2	20,7	28,5	18,6	29,5	20,1	29,6	19,2	30,4	20,2	29,0	18,7	29,6	19,4
ABR	25,1	14,2	26,2	15,9	27,4	17,4	25,1	15,0	25,6	15,9	26,5	15,8	27,3	16,9	25,9	15,4	26,3	16,1
MAI	21,8	11,6	23,0	13,0	23,4	14,1	22,4	13,1	23,1	13,9	22,7	12,7	23,2	13,4	22,4	12,5	22,8	13,0
JUN	19,5	9,9	21,0	10,8	21,0	12,0	18,9	10,2	19,7	11,1	20,5	10,9	21,0	11,4	19,9	10,4	20,2	10,7
JUL	19,4	9,8	21,6	12,0	22,5	13,4	19,4	10,8	20,9	11,9	20,7	11,1	21,5	11,9	20,4	10,9	20,0	11,6
AGO	20,2	9,9	22,6	12,6	23,9	13,7	20,5	11,1	21,4	12,1	21,6	11,0	22,3	11,7	21,0	10,7	21,4	11,2
SET	22,3	11,6	23,4	13,3	25,1	14,6	22,9	13,0	24,2	14,5	23,8	13,2	24,8	14,1	23,2	12,6	23,8	13,2
OUT	24,8	13,9	26,1	15,6	27,2	17,1	25,3	14,6	25,9	15,8	26,1	15,0	26,9	15,7	25,7	15,0	26,3	15,6
NOV	27,2	15,6	28,2	16,9	28,9	17,9	27,4	16,3	28,1	17,4	28,8	17,1	29,8	17,9	28,2	16,6	28,8	17,1
DEZ	29,6	17,9	31,8	19,4	31,8	20,9	30,9	19,2	31,1	20,2	31,1	19,1	32,0	19,8	30,5	18,7	31,1	19,1

Tabela 11 – Médias mensais de temperatura máxima (Tmax) e temperatura mínima (Tmin) do ar (ºC) observadas e projetadas pelos modelos ETA (E) e Precis (P), para os cenários de emissão de gases de efeito estufa A2 e B2, para os dois períodos (D25 e D55) analisados, para as localidades do Estado do Rio Grande do Sul

(conclusão)

	Histórico		E A2 D25		E A2 D55		E B2 D25		E B2 D55		P A2 D25		P A2 D55		P B2 D25		P B2 D55	
URUG	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin
										ºC								
JAN	32,1	20,1	33,5	22,0	34,5	23,1	32,4	21,4	32,4	21,8	34,5	21,9	36,0	22,9	33,9	21,4	35,0	22,1
FEV	31,2	19,5	32,5	21,1	33,1	22,1	31,2	20,2	32,0	21,1	33,6	21,2	35,0	22,3	32,8	20,7	33,8	21,5
MAR	29,2	18,1	30,5	20,1	31,4	21,1	29,3	18,9	30,4	20,3	31,3	20,0	32,6	21,2	30,7	19,5	31,6	20,3
ABR	26,1	14,7	27,5	16,6	28,3	17,9	26,0	15,5	26,4	16,2	28,0	16,6	29,1	17,7	27,3	16,0	28,0	16,8
MAI	23,1	12,4	24,2	13,9	24,5	15,0	23,4	13,9	24,1	14,6	24,4	13,5	25,1	14,2	24,0	13,3	24,6	13,8
JUN	19,8	9,9	21,1	10,9	21,1	11,9	19,1	10,1	19,7	11,0	21,1	11,0	21,8	11,6	20,4	10,4	20,7	10,7
JUL	19,6	9,7	21,7	12,0	22,6	13,3	19,8	10,7	20,8	11,7	21,4	11,2	22,4	12,0	21,1	11,0	20,6	11,8
AGO	20,7	10,0	22,9	12,7	24,3	13,7	20,8	11,0	21,2	12,1	22,3	11,3	23,3	12,0	21,7	10,9	22,3	11,4
SET	23,1	12,1	24,1	13,6	25,8	15,0	23,6	13,6	24,5	15,2	25,0	13,8	26,1	14,9	24,4	13,2	25,1	13,9
OUT	25,6	14,1	26,9	15,7	28,1	17,3	26,2	14,8	26,5	15,9	27,3	15,5	28,4	16,4	26,9	15,3	27,7	16,1
NOV	28,5	16,5	29,4	17,8	30,0	18,6	28,5	16,9	29,0	17,9	30,8	18,3	32,1	19,4	30,0	17,7	30,9	18,4
DEZ	30,9	18,6	33,1	19,9	33,1	21,6	32,1	20,0	32,4	20,9	33,3	20,2	34,7	21,1	32,6	19,8	33,5	20,5
	Histórico		E A2 D25		E A2 D55		E B2 D25		E B2 D55		P A2 D25		P A2 D55		P B2 D25		P B2 D55	
BAGE	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin
										ºC								
JAN	30,3	18,3	31,7	20,3	32,8	21,4	30,7	19,6	30,7	20,2	32,7	20,0	34,2	21,0	31,9	19,4	32,9	20,1
FEV	29,4	18,0	31,0	19,9	31,7	20,9	29,6	18,8	30,7	19,9	31,8	19,7	33,2	20,7	31,0	19,1	31,9	19,8
MAR	27,8	16,8	29,0	18,7	29,9	19,7	28,2	17,8	29,3	19,2	29,9	18,7	31,1	19,9	29,3	18,2	30,2	19,0
ABR	24,3	13,4	25,6	15,2	26,6	16,6	24,3	14,1	25,1	15,0	26,2	15,3	27,3	16,3	25,5	14,8	26,2	15,7
MAI	21,0	11,0	22,1	12,4	22,4	13,3	21,8	12,6	22,4	13,2	22,3	12,2	23,1	12,9	22,0	12,0	22,5	12,5
JUN	18,4	8,8	19,8	9,7	19,8	10,7	18,0	9,1	18,8	10,0	19,7	9,9	20,4	10,6	19,1	9,4	19,5	9,7
JUL	17,9	8,6	19,9	10,8	20,9	12,0	18,2	9,5	19,5	10,8	19,6	10,0	20,6	10,8	19,2	9,9	19,0	10,6
AGO	19,4	9,5	21,5	12,0	22,7	12,9	19,7	10,5	20,3	11,4	21,0	10,7	21,9	11,4	20,4	10,3	21,1	10,9
SET	21,0	10,7	21,9	12,1	23,3	13,3	21,6	11,8	22,6	13,2	22,6	12,3	23,5	13,2	22,1	11,7	22,7	12,4
OUT	23,9	12,8	25,0	14,4	26,0	15,8	24,3	13,5	25,2	14,7	25,5	14,1	26,5	14,9	25,1	14,0	25,8	14,7
NOV	26,1	14,6	27,0	15,9	27,7	16,7	26,4	15,3	27,0	16,3	28,2	16,2	29,5	17,3	27,5	15,7	28,2	16,5
DEZ	29,2	17,1	31,6	18,5	31,6	20,0	30,5	18,5	30,7	19,5	31,3	18,4	32,6	19,3	30,5	18,1	31,4	18,7
	Histórico		E A2 D25		E A2 D55		E B2 D25		E B2 D55		P A2 D25		P A2 D55		P B2 D25		P B2 D55	
PELO	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin
										ºC								
JAN	28,4	18,6	29,9	20,5	30,8	21,6	29,1	20,0	29,1	20,6	30,4	19,9	31,6	20,7	29,7	19,3	30,4	19,8
FEV	28,6	19,0	30,3	20,7	31,1	21,8	29,0	19,8	29,9	20,9	30,6	20,3	31,7	21,1	29,8	19,8	30,5	20,2
MAR	27,0	17,2	28,2	19,0	29,2	19,9	27,7	18,1	28,8	19,3	28,7	18,7	29,7	19,6	28,3	18,2	29,0	18,8
ABR	24,2	13,6	25,3	15,2	26,4	16,6	24,3	14,2	25,1	15,1	25,7	14,9	26,6	15,7	25,1	14,6	25,7	15,2
MAI	20,6	9,9	21,6	11,3	21,9	12,2	21,4	11,3	22,1	12,0	21,6	10,7	22,3	11,2	21,4	10,5	21,8	10,9
JUN	18,3	8,1	19,6	8,9	19,6	10,1	18,0	8,5	18,8	9,4	19,4	8,9	20,1	9,4	18,8	8,4	19,2	8,6
JUL	17,7	8,6	19,6	10,7	20,5	12,0	18,0	9,5	19,3	10,7	19,2	9,7	20,0	10,3	18,9	9,5	18,6	10,1
AGO	18,5	8,4	20,3	10,8	21,5	11,8	18,8	9,4	19,6	10,4	20,0	9,4	20,8	10,0	19,5	9,1	20,1	9,5
SET	19,7	10,3	20,6	11,8	21,8	12,9	20,3	11,4	21,3	12,8	21,2	11,5	22,0	12,3	20,7	11,1	21,4	11,5
OUT	22,3	13,0	23,4	14,5	24,2	16,0	22,8	13,7	23,7	14,9	23,8	14,0	24,6	14,7	23,4	13,9	24,1	14,4
NOV	24,7	14,7	25,6	16,0	26,5	17,0	25,2	15,4	25,9	16,4	26,4	16,0	27,5	16,7	25,8	15,6	26,5	16,1
DEZ	27,4	17,4	29,7	18,7	29,7	20,2	28,7	18,6	29,3	19,8	29,0	18,4	30,0	19,0	28,4	18,1	29,1	18,5

PFUN: Passo Fundo, CRAL: Cruz Alta, STMA: Santa Maria, URUG: Uruguaiana, BAGE: Bagé, PELO: Pelotas

No Paraná, nas projeções dos dois modelos (Tabela 9), a localidade de Castro foi a que apresentou as menores variações entre os valores históricos e os projetados para os diferentes cenários futuros. Uma análise mais detalhada mostrou que as cinco localidades estudadas apresentaram menor acréscimo das temperaturas durante os meses de abril a agosto para os cenários B2 gerados pelo modelo ETA, ou seja, os maiores aquecimentos foram estimados para o período de desenvolvimento da safra de soja (setembro a março). Já para os cenários A2 gerados pelo modelo ETA, os maiores acréscimos foram estimados para o segundo semestre do ano, nos meses de agosto a dezembro. Nas projeções pelo modelo PRECIS, observaram-se variações discretas no acréscimo das temperaturas médias históricas para ambos os cenários, quando comparados ao modelo ETA.

Em Santa Catarina, observou-se a mesma tendência citada para o estado do Paraná. Conforme pode ser observado nas Tabelas 9 e 10, foram observadas pequenas diferenças entre as médias históricas e as projetadas pelos modelos para os dois estados no cenário B2 gerado pelo modelo ETA. Nos cenários A2 gerados pelo ETA e nos dois cenários, A2 e B2, gerados pelo PRECIS, as diferenças observadas já foram um pouco maiores.

No Rio Grande do Sul (Tabela 11), as diferenças entre as médias históricas e as projetadas pelos modelos ETA e PRECIS para os diferentes cenários apresentaram variações muito semelhantes entre as seis localidades estudadas. Em algumas localidades, como em Santa Maria e Uruguaiana, os acréscimos das temperaturas máximas projetadas para o cenário B2, por ambos os modelos, foram muito pequenos. Para o cenário B2, os maiores acréscimos de temperatura foram estimados para as temperaturas mínimas, em todas as localidades, pelos dois modelos. Já com relação às projeções do modelo PRECIS, não se verificaram grandes diferenças entre os acréscimos projetados para as temperaturas máximas e as mínimas.

Na Tabela 12, são apresentados os valores médios mensais dos deltas de temperatura (diferença entre valores estimados e observados) gerados pelos modelos ETA e PRECIS, para os cenários A2 e B2 nos períodos D25 e D55, para os três estados do Sul do Brasil.

No período entre 2010 e 2070, está sendo projetado um aquecimento médio para o estado do Paraná de 2,5 ºC no cenário A2 e de 1,6 ºC no B2. Em Santa Catarina essa projeção de aquecimento é de 2,4 ºC no cenário A2 e de 1,6 ºC no

B2, enquanto que no Rio Grande do Sul estimam-se elevações da temperatura, em média, da ordem de 2,1 ºC no cenário A2 e de 1,3 ºC no cenário B2. Considerando-se as projeções das temperaturas no sul do Brasil, apenas nos meses de inverno, os acréscimos absolutos são em média de 1,8 ºC. As tendências exatas variam dependendo do início e do fim do período observado, mas todos os registros sinalizam para um aumento detectável (Tabela 12).

As projeções médias para os períodos D25 e D55 para o sul do Brasil, pelo modelo regional ETA, mostram para o cenário A2 um aquecimento médio de 1,8 ºC para o período D25 e de 3,0 ºC para o período D55, e um aquecimento médio de 1,0 ºC para o período D25 e de 1,8 ºC para o período D55 no cenário B2. Já o modelo regional PRECIS, projeta para o cenário A2 um aquecimento médio de 1,7 ºC para o período D25 e de 2,8 ºC para o período D55, e um aquecimento médio de 1,3 ºC para o período D25 e de 2,0 ºC para o período D55 no cenário B2. O modelo ETA mostra-se mais drástico para o cenário A2 em relação ao modelo PRECIS. Em contra partida, o modelo PRECIS indica uma diferença média de +0,25 ºC no cenário B2 em relação ao modelo ETA (Tabela 12).

Nos três estados, são estimados valores de acréscimos de temperatura maiores para o período D55 comparado ao período D25, tanto no cenário A2 como no B2, por ambos os modelos. Nota-se que os valores dos acréscimos médios gerados são maiores para o estado do Paraná, em todos os cenários, pelo modelo ETA, e no estado de Santa Catarina, pelo modelo PRECIS (Tabela 12). Já os menores valores médios de acréscimos são estimados para o estado do Rio Grande do Sul, em praticamente todos os cenários, com exceção daquele gerado pelo modelo PRECIS para o cenário A2, o qual mostra valores intermediários entre os estados de Santa Catarina e Paraná para os valores médios de temperatura máxima (Tabela 12).

Tabela 12 – Valores médios mensais de deltas (diferença entre valores estimados e observados) gerados pelos modelos ETA e PRECIS, para os cenários A2 e B2 nos períodos D25 e D55, para os três estados do Sul do Brasil

Modelos	Cenários		Paraná		Santa Catarina		Rio Grande do Sul	
			Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin
			°C					
ETA	B2	D25	1,08	1,28	0,77	1,19	0,45	1,01
		D55	1,84	2,24	1,56	2,15	1,19	2,01
	A2	D25	2,11	1,85	1,77	1,77	1,53	1,70
		D55	3,43	3,36	2,89	3,15	2,40	2,93
PRECIS	B2	D25	1,24	1,29	1,36	1,44	1,19	1,09
		D55	1,94	2,07	2,11	2,31	1,82	1,74
	A2	D25	1,71	1,73	1,87	1,87	1,74	1,50
		D55	2,74	2,77	2,99	3,00	2,79	2,40

Tmax: temperatura máxima do ar, Tmin: temperatura mínima do ar

4.2 Produtividades potencial e atingível estimadas para as condições climáticas atuais e futuras

Na Tabela 13 são apresentadas as médias das produtividades potencial (A) e atingível (B) para Londrina, PR, assim como os resultados do teste de Tukey a 5% para a comparação dos diferentes cenários

De um modo geral, todas as produtividades foram inferiores nos cenários de aquecimento global quando comparado com o cenário atual (Tabela 13). Em Londrina, a produtividade potencial mais baixa para o período D25 se deu no cenário A2 com os dados gerados pelo modelo ETA apresentando média de 3663 kg ha^{-1}. Nesse mesmo cenário também se observou o pior desempenho, 3405 kg ha^{-1}, para o período D55. O mesmo se deu na produtividade atingível apresentando valores médios de 2000 e 1719 kg ha^{-1} respectivamente para os períodos D25 e D55. Em ambas as análises o cenário A2 para os períodos D25 e D55 foi o que mostrou o menor valor médio de produtividade.

Observa-se na produtividade potencial de Londrina uma redução para o período D25 em torno de 14% em comparação ao histórico atual, enquanto que para o período D55 essas perdas são da ordem de 20%. Já na produtividade atingível observam-se perdas de produtividade da ordem de 27% e 37% em relação ao cenário atual, respectivamente para os períodos D25 e D55, o que indica que além do efeito térmico, causado pelo aquecimento global, deve estar havendo um efeito hídrico, pela elevação da evapotranspiração da cultura e, consequentemente, da deficiência hídrica.

Tabela 13 – Produtividades potencial (A) e atingível (B) médias para a localidade de Londrina, PR (LOND), nos cenários atual e de aquecimento global, e suas variabilidades interanuais expressas pelo coeficiente de variação (CV)

LOND (A)		
Produtividade Potencial (kg ha^{-1})		
Tratamentos	Médias	Resultado do teste
EA2D55	3405	a
PA2D55	3593	b
EA2D25	3663	bc
EB2D55	3696	bcd
PB2D55	3772	cde
PA2D25	3793	cde
EB2D25	3824	de
PB2D25	3908	e
HIST	4245	f
CV (%) = 4,73		

LOND (B)		
Produtividade Atingível (kg ha^{-1})		
Tratamentos	Médias	Resultado do teste
EA2D55	1719	a
PA2D55	1899	a
EA2D25	2000	a
EB2D55	2032	ab
PB2D55	2084	ab
PA2D25	2114	ab
EB2D25	2198	ab
PB2D25	2248	ab
HIST	2716	b
CV (%) = 35,49		

Em que: HIST: cenário atual; EA2D25: cenário A2 no período D25 pelo modelo ETA; EA2D55: cenário A2 no período D55 pelo modelo ETA; EB2D25: cenário B2 no período D25 pelo modelo ETA; EB2D55: cenário B2 período D55 pelo modelo ETA; PA2D25: cenário A2 no período D25 pelo modelo PRECIS; PA2D55: cenário A2 no período D55 pelo modelo PRECIS; PB2D25: cenário B2 no período D25 pelo modelo PRECIS; PB2D55: cenário B2 no período D55 pelo modelo PRECIS. Médias acompanhadas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de significância

Na Tabela 14 são apresentadas as médias das produtividades potencial (A) e atingível (B) para Campo Mourão, PR, assim como os resultados do teste de Tukey a 5% para a comparação dos diferentes cenários.

Em Campo Mourão, a produtividade potencial mais baixa para o período D25 se deu no cenário A2, no qual média foi de 3330 kg ha^{-1} no cenário gerado pelo modelo ETA. Nesse mesmo cenário também se observou o pior desempenho para o período D55, com 3027 kg ha^{-1}. O mesmo se deu na produtividade atingível apresentando valores médios de 2369 e 2140 kg ha^{-1}, respectivamente para os períodos D25 e D55. Em ambas as análises, o cenário A2 para os períodos D25 e D55 foi o que resultou nas menores produtividades médias (Tabela 14).

Tabela 14 – Produtividades potencial (A) e atingível (B) médias para a localidade de Campo Mourão, PR (CMOU), nos cenários atual e de aquecimento global, e suas variabilidades interanuais expressas pelo coeficiente de variação (CV)

CMOU (A)			CMOU (B)		
Produtividade Potencial (kg ha^{-1})			Produtividade Atingível (kg ha^{-1})		
Tratamentos	Médias	Resultado do teste	Tratamentos	Médias	Resultado do teste
EA2D55	3027	a	EA2D55	2140	a
PA2D55	3223	ab	PA2D55	2325	ab
EA2D25	3330	bc	EA2D25	2369	ab
EB2D55	3404	bcd	EB2D55	2462	ab
PB2D55	3451	cde	PB2D55	2491	ab
PA2D25	3471	cde	PA2D25	2432	ab
EB2D25	3556	de	EB2D25	2546	ab
PB2D25	3623	e	PB2D25	2590	ab
HIST	4005	f	HIST	2971	b
CV (%) = 7,07			CV (%) = 35,49		

Em que: HIST: cenário atual; EA2D25: cenário A2 no período D25 pelo modelo ETA; EA2D55: cenário A2 no período D55 pelo modelo ETA; EB2D25: cenário B2 no período D25 pelo modelo ETA; EB2D55: cenário B2 período D55 pelo modelo ETA; PA2D25: cenário A2 no período D25 pelo modelo PRECIS; PA2D55: cenário A2 no período D55 pelo modelo PRECIS; PB2D25: cenário B2 no período D25 pelo modelo PRECIS; PB2D55: cenário B2 no período D55 pelo modelo PRECIS. Médias acompanhadas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de significância

Observa-se na produtividade potencial uma redução para o período D25 em torno de 17% em comparação ao projetado para a condição atual, e de 25% para o período D55. Para a produtividade atingível as perdas de produtividade são da ordem de 21% e 28% para os períodos D25 e D55, respectivamente, mostrando a mesma tendência de aumento das penalizações devido ao efeito indireto do aquecimento global no aumento do déficit hídrico.

Na Tabela 15 são apresentadas as médias das produtividades potencial (A) e atingível (B) para Palotina, PR, assim como os resultados do teste de Tukey a 5% para a comparação dos diferentes cenários.

Em Palotina, a produtividade potencial mais baixa para o período D25 se deu no cenário A2 do modelo ETA, com média observada de 2715 kg ha^{-1}. No mesmo cenário também se observou o pior desempenho para o período D55, com média de 2430 kg ha^{-1}. O mesmo se deu na produtividade atingível, a qual apresentou valores médios de 1804 e 1495 kg ha^{-1} para os períodos D25 e D55, respectivamente. Em ambas as análises, o cenário A2 para os períodos D25 e D55 mostrou o menor valor médio de produtividade em relação aos demais cenários (Tabela 15).

Tabela 15 – Produtividades potencial (A) e atingível (B) médias para a localidade de Palotina, PR (PALO), nos cenários atual e de aquecimento global, e suas variabilidades interanuais expressas pelo coeficiente de variação (CV)

PALO (A)			PALO (B)		
Produtividade Potencial (kg ha^{-1})			Produtividade Atingível (kg ha^{-1})		
Tratamentos	Médias	Resultado do teste	Tratamentos	Médias	Resultado do teste
EA2D55	2430	a	EA2D55	1495	a
PA2D55	2549	a	PA2D55	1591	ab
EA2D25	2715	b	EA2D25	1804	ab
PB2D55	2789	b	PB2D55	1830	ab
EB2D55	2847	bc	EB2D55	1887	ab
PA2D25	2857	bc	PA2D25	1901	ab
EB2D25	2966	c	PB2D25	2042	b
PB2D25	2978	c	EB2D25	2056	b
HIST	3517	d	HIST	2608	c
CV (%) = 6,42			CV (%) = 35,19		

Em que: HIST: cenário atual; EA2D25: cenário A2 no período D25 pelo modelo ETA; EA2D55: cenário A2 no período D55 pelo modelo ETA; EB2D25: cenário B2 no período D25 pelo modelo ETA; EB2D55: cenário B2 período D55 pelo modelo ETA; PA2D25: cenário A2 no período D25 pelo modelo PRECIS; PA2D55: cenário A2 no período D55 pelo modelo PRECIS; PB2D25: cenário B2 no período D25 pelo modelo PRECIS; PB2D55: cenário B2 no período D55 pelo modelo PRECIS. Médias acompanhadas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de significância

Observa-se na produtividade potencial uma redução para o período D25 em torno de 23% em comparação ao histórico atual, enquanto que para o período D55 essa perda é da ordem de 31%. Já na produtividade atingível observam-se perdas de produtividade maiores, da ordem de 31% e 43% respectivamente para os períodos D25 e D55, o que novamente denota o efeito direto do aquecimento global na redução da disponibilidade de água no solo para a cultura da soja.

Na Tabela 16 são apresentadas as médias das produtividades potencial (A) e atingível (B) para Castro, PR, assim como os resultados do teste de Tukey a 5% para a comparação dos diferentes cenários.

Em Castro, a produtividade potencial mais baixa para o período 2025 se deu no cenário A2, apresentando média de 4615 kg ha^{-1}, com os dados gerados a partir das projeções do modelo ETA. Nesse mesmo cenário também se observou a menor produtividade potencial para o período D55, com média de 4375 kg ha^{-1}. O mesmo se deu na produtividade atingível, onde se observou médias de 2812 e 2507 kg ha^{-1}, respectivamente para os períodos D25 e D55. Em ambas as análises, o cenário A2

para os anos de 2025 e 2055 resultou no menor valor médio de produtividade em relação aos demais cenários (Tabela 16).

Tabela 16 – Produtividades potencial (a) e atingível (b) médias para a localidade de Castro, PR (CAST), nos cenários atual e de aquecimento global, e suas variabilidades interanuais expressas pelo coeficiente de variação (CV)

CAST (A)			CAST (B)		
Produtividade Potencial (kg ha^{-1})			Produtividade Atingível (kg ha^{-1})		
Tratamentos	Médias	Resultado do teste	Tratamentos	Médias	Resultado do teste
EA2D55	4375	a	EA2D55	2507	a
PA2D55	4467	ab	PA2D55	2706	a
EB2D55	4535	abc	EB2D55	2752	a
PB2D55	4572	abc	EA2D25	2812	a
EA2D25	4615	bc	PB2D55	2852	a
PA2D25	4625	bc	PA2D25	2881	a
PB2D25	4668	bcd	EB2D25	2961	a
EB2D25	4705	cd	PB2D25	2998	a
HIST	4865	d	HIST	3268	a
CV (%) = 5,62			CV (%) = 45,98		

Em que: HIST: cenário atual; EA2D25: cenário A2 no período D25 pelo modelo ETA; EA2D55: cenário A2 no período D55 pelo modelo ETA; EB2D25: cenário B2 no período D25 pelo modelo ETA; EB2D55: cenário B2 período D55 pelo modelo ETA; PA2D25: cenário A2 no período D25 pelo modelo PRECIS; PA2D55: cenário A2 no período D55 pelo modelo PRECIS; PB2D25: cenário B2 no período D25 pelo modelo PRECIS; PB2D55: cenário B2 no período D55 pelo modelo PRECIS. Médias acompanhadas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de significância

Observa-se na produtividade potencial uma penalização da produtividade para o período D25 em torno de 6% em comparação ao histórico atual, e para o período D55 essas perdas são de 11%. Já na produtividade atingível observam-se perdas de produtividade da ordem de 14% e 24% para os períodos D25 e D55 respectivamente, em relação ao cenário atual.

Na Tabela 17 são apresentadas as médias das produtividades potencial (A) e atingível (B) para Cascavel, PR, assim como os resultados do teste de Tukey a 5% para a comparação dos diferentes cenários.

Em Cascavel, os resultados mostram que a produtividade potencial mais baixa foi observada para o período D25 no cenário A2 determinado pelo modelo ETA, com média de 3564 kg ha^{-1}. No mesmo cenário também se observou o pior desempenho para o período D55, com média de 3333 kg ha^{-1}. O mesmo se deu na produtividade atingível apresentando valores médios de 2472 e 2171 kg ha^{-1}, respectivamente para os períodos D25 e D55. Na análise do teste de médias o

cenário A2 para o período D25 mostrou o menor valor médio de produtividade potencial, o mesmo cenário também apresentou menor valor médio de produtividade atingível, em relação aos demais cenários.

Tabela 17 – Produtividades potencial (A) e atingível (B) médias para a localidade de Cascavel, PR (CASC), nos cenários atual e de aquecimento global, e suas variabilidades interanuais expressas pelo coeficiente de variação (CV)

CASC (A)			CASC (B)		
Produtividade Potencial (kg ha^{-1})			Produtividade Atingível (kg ha^{-1})		
Tratamentos	Médias	Resultado do teste	Tratamentos	Médias	Resultado do teste
EA2D55	3333	a	EA2D55	2171	a
PA2D55	3498	a	PA2D55	2352	a
EA2D25	3564	bc	EA2D25	2472	a
EB2D55	3635	cd	EB2D55	2511	ab
PA2D25	3678	d	PB2D55	2582	ab
PB2D55	3709	de	PA2D25	2586	ab
EB2D25	3717	de	EB2D25	2664	ab
PB2D25	3791	e	PB2D25	2723	ab
HIST	4174	f	HIST	3227	b
CV (%) = 3,71			CV (%) = 36,13		

Em que: HIST: cenário atual; EA2D25: cenário A2 no período D25 pelo modelo ETA; EA2D55: cenário A2 no período D55 pelo modelo ETA; EB2D25: cenário B2 no período D25 pelo modelo ETA; EB2D55: cenário B2 período D55 pelo modelo ETA; PA2D25: cenário A2 no período D25 pelo modelo PRECIS; PA2D55: cenário A2 no período D55 pelo modelo PRECIS; PB2D25: cenário B2 no período D25 pelo modelo PRECIS; PB2D55: cenário B2 no período D55 pelo modelo PRECIS. Médias acompanhadas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de significância

Observa-se na produtividade potencial uma redução para o período D25 em torno de 15% em comparação ao histórico atual, enquanto que para o período D55 essas perdas giram em torno de 21%. Já na produtividade atingível observam-se perdas de produtividade da ordem de 24% e 33% para os períodos D25 e D55 respectivamente, em relação ao cenário atual, sendo que esse aumento se deve à intensificação do déficit hídrico nos cenários futuros do clima.

Na Tabela 18 são apresentadas as médias das produtividades potencial (A) e atingível (B) para Chapecó, SC, assim como os resultados do teste de Tukey a 5% para a comparação dos diferentes cenários.

Em Chapecó, a produtividade potencial mais baixa foi de 4860 kg ha^{-1} para o período D25 no cenário A2 do modelo PRECIS. No mesmo cenário também se observou o pior desempenho para o período D55, com média de 4599 kg ha^{-1}. O

mesmo não se observou na produtividade atingível para o período D25, quando a pior produtividade foi observada no cenário A2 do modelo ETA, com valor médio de 2255 kg ha^{-1}. No período D55, o pior desempenho foi no cenário A2 do modelo PRECIS, com média de 2099 kg ha^{-1}. Em ambas as análises o cenário A2 para os anos de 2025 e 2055 mostrou o menor valor médio de produtividade, em relação aos demais cenários.

Tabela 18 – Produtividades potencial (A) e atingível (B) médias para a localidade de Chapecó, SC (CHAP), nos cenários atual e de aquecimento global, e suas variabilidades interanuais expressas pelo coeficiente de variação (CV)

CHAP (A)			CHAP (B)		
Produtividade Potencial (kg ha^{-1})			Produtividade Atingível (kg ha^{-1})		
Tratamentos	Médias	Resultado do teste	Tratamentos	Médias	Resultado do teste
PA2D55	4599	a	PA2D55	2099	a
EA2D55	4631	a	EA2D55	2147	a
PA2D25	4860	b	EA2D25	2295	a
PB2D55	4871	b	PA2D25	2307	a
EA2D25	4905	bc	PB2D55	2309	a
EB2D55	4916	bc	EB2D55	2316	a
PB2D25	5016	cd	EB2D25	2403	a
EB2D25	5095	d	PB2D25	2448	a
HIST	5486	e	HIST	2776	a
CV (%) = 3,17			CV (%) = 53,97		

Em que: HIST: cenário atual; EA2D25: cenário A2 no período D25 pelo modelo ETA; EA2D55: cenário A2 no período D55 pelo modelo ETA; EB2D25: cenário B2 no período D25 pelo modelo ETA; EB2D55: cenário B2 período D55 pelo modelo ETA; PA2D25: cenário A2 no período D25 pelo modelo PRECIS; PA2D55: cenário A2 no período D55 pelo modelo PRECIS; PB2D25: cenário B2 no período D25 pelo modelo PRECIS; PB2D55: cenário B2 no período D55 pelo modelo PRECIS. Médias acompanhadas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de significância

Observa-se na produtividade potencial uma redução para o período D25 em torno de 12% em comparação ao histórico atual, enquanto que para o período D55 essa redução é de cerca de 17%. Já na produtividade atingível observam-se perdas de produtividade da ordem de 19% e 25% para os períodos D25 e D55 respectivamente, em relação ao cenário atual.

Na Tabela 19 são apresentadas as médias das produtividades potencial (A) e atingível (B) para Campos Novos, SC, assim como os resultados do teste de Tukey a 5% para a comparação dos diferentes cenários.

Em Campo Novos, a produtividade potencial mais baixa foi obtida para o período D25 no cenário A2 do modelo PRECIS, com média de 5356 kg ha^{-1}. No mesmo cenário também se observou o pior desempenho para o período D55 com média de 5087 kg ha^{-1}. O mesmo se deu na produtividade atingível, com médias de 1613 e 1414 kg ha^{-1} para os períodos D25 e D55, respectivamente. Em ambas as análises o cenário A2 para ambos os períodos apresentou os menores valores médios de produtividade em relação aos demais cenários.

Tabela 19 – Produtividades potencial (A) e atingível (B) médias para a localidade de Campos Novos, SC (CNOV), nos cenários atual e de aquecimento global, e suas variabilidades interanuais expressas pelo coeficiente de variação (CV)

CNOV (A)		
Produtividade Potencial (kg ha^{-1})		
Tratamentos	Médias	Resultado do teste
PA2D55	5087	a
EA2D55	5212	ab
PB2D55	5246	ab
PA2D25	5356	bc
EB2D55	5404	bc
EA2D25	5409	bc
PB2D25	5415	bc
EB2D25	5519	c
HIST	5555	c
CV (%) = 5,03		

CNOV (B)		
Produtividade Atingível (kg ha^{-1})		
Tratamentos	Médias	Resultado do teste
PA2D55	1414	a
EA2D55	1512	a
PB2D55	1547	a
PA2D25	1613	a
EB2D55	1657	a
PB2D25	1711	a
EA2D25	1714	a
EB2D25	1798	a
HIST	1960	a
CV (%) = 73,38		

Em que: HIST: cenário atual; EA2D25: cenário A2 no período D25 pelo modelo ETA; EA2D55: cenário A2 no período D55 pelo modelo ETA; EB2D25: cenário B2 no período D25 pelo modelo ETA; EB2D55: cenário B2 período D55 pelo modelo ETA; PA2D25: cenário A2 no período D25 pelo modelo PRECIS; PA2D55: cenário A2 no período D55 pelo modelo PRECIS; PB2D25: cenário B2 no período D25 pelo modelo PRECIS; PB2D55: cenário B2 no período D55 pelo modelo PRECIS. Médias acompanhadas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de significância

Observa-se na produtividade potencial perda de rendimento agrícola para o período D25 em torno de 4% em comparação ao histórico atual. Para o período D55 essas perdas sobem para 9%. Já na produtividade atingível observam-se perdas de produtividade da ordem de 18% e 28% em relação ao cenário atual, respectivamente para os períodos D25 e D55, o que enfatiza bem o aumento da deficiência hídrica nessas condições climáticas.

Na Tabela 20 são apresentadas as médias das produtividades potencial (A) e atingível (B) para Passo Fundo, RS, assim como os resultados do teste de Tukey a 5% para a comparação dos diferentes cenários.

Em Passo Fundo, a produtividade potencial mais baixa para o período D25 no cenário A2 do modelo PRECIS foi de 5058 kg ha^{-1}, sendo que nesse mesmo cenário também se observou o pior desempenho para o período D55, com a média de 4719 kg ha^{-1}. O mesmo se deu para a produtividade atingível, onde se observaram valores médios de 2008 e 1797 kg ha^{-1} respectivamente nos períodos D25 e D55. Em ambas as análises o cenário A2, para os períodos D25 e D55, foi o que mostrou o menor valor médio de produtividade, em relação aos demais cenários.

Tabela 20 – Produtividades potencial (A) e atingível (B) médias para a localidade de Passo Fundo, RS (PFUN), nos cenários atual e de aquecimento global, e suas variabilidades interanuais expressas pelo coeficiente de variação (CV)

PFUN (A)			PFUN (B)		
Produtividade Potencial (kg ha^{-1})			Produtividade Atingível (kg ha^{-1})		
Tratamentos	Médias	Resultado do teste	Tratamentos	Médias	Resultado do teste
PA2D55	4719	a	PA2D55	1797	a
EA2D55	4904	b	EA2D55	1917	a
PB2D55	5003	bc	PB2D55	1991	a
PA2D25	5058	cd	PA2D25	2008	a
EB2D55	5157	d	EA2D25	2063	a
EA2D25	5162	d	EB2D55	2093	a
PB2D25	5191	de	PB2D25	2108	a
EB2D25	5318	e	EB2D25	2178	a
HIST	5584	f	HIST	2460	a
CV (%) = 3,07			CV (%) = 46,73		

Em que: HIST: cenário atual; EA2D25: cenário A2 no período D25 pelo modelo ETA; EA2D55: cenário A2 no período D55 pelo modelo ETA; EB2D25: cenário B2 no período D25 pelo modelo ETA; EB2D55: cenário B2 período D55 pelo modelo ETA; PA2D25: cenário A2 no período D25 pelo modelo PRECIS; PA2D55: cenário A2 no período D55 pelo modelo PRECIS; PB2D25: cenário B2 no período D25 pelo modelo PRECIS; PB2D55: cenário B2 no período D55 pelo modelo PRECIS. Médias acompanhadas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de significância

Observa-se na produtividade potencial uma redução para o período D25 em torno de 10% em comparação ao histórico atual, enquanto que para o período D55 essa redução é da ordem de 16%. Já na produtividade atingível observam-se perdas de produtividade da ordem de 19% e 27% em relação ao cenário atual, respectivamente para os períodos D25 e D55.

Na Tabela 21 são apresentadas as médias das produtividades potencial (A) e atingível (B) para Cruz Alta, RS, assim como os resultados do teste de Tukey a 5% para a comparação dos diferentes cenários, também consta os valores de CV (%).

Em Cruz Alta, a produtividade potencial mais baixa para o período D25, com média de 4935 kg ha^{-1}, se observou no cenário A2 do modelo PRECIS. No mesmo cenário também se observou o pior desempenho, média de 4613 kg ha^{-1}, para o período D55. O mesmo se deu para a produtividade atingível, para a qual se observaram médias de 2514 e 2310 kg ha^{-1} para os períodos D25 e D55, respectivamente. Em ambas as análises, o cenário A2 apresentou as menores produtividades médias em relação aos demais cenários.

Tabela 21 – Produtividades potencial (A) e atingível (B) médias para a localidade de Cruz Alta, RS (CRAL), nos cenários atual e de aquecimento global, e suas variabilidades interanuais expressas pelo coeficiente de variação (CV)

CRAL (A)			CRAL (B)		
Produtividade Potencial (kg ha^{-1})			Produtividade Atingível (kg ha^{-1})		
Tratamentos	Médias	Resultado do teste	Tratamentos	Médias	Resultado do teste
PA2D55	4613	a	PA2D55	2310	a
EA2D55	4741	a	EA2D55	2450	a
PB2D55	4881	b	PB2D55	2508	a
PA2D25	4935	c	PA2D25	2514	a
EA2D25	5006	c	EA2D25	2569	a
EB2D55	5009	c	EB2D55	2626	a
PB2D25	5062	d	PB2D25	2656	a
EB2D25	5162	e	EB2D25	2684	a
HIST	5477	f	HIST	2967	a
CV (%) = 3,74			CV (%) = 65,12		

Em que: HIST: cenário atual; EA2D25: cenário A2 no período D25 pelo modelo ETA; EA2D55: cenário A2 no período D55 pelo modelo ETA; EB2D25: cenário B2 no período D25 pelo modelo ETA; EB2D55: cenário B2 período D55 pelo modelo ETA; PA2D25: cenário A2 no período D25 pelo modelo PRECIS; PA2D55: cenário A2 no período D55 pelo modelo PRECIS; PB2D25: cenário B2 no período D25 pelo modelo PRECIS; PB2D55: cenário B2 no período D55 pelo modelo PRECIS. Médias acompanhadas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de significância

Observa-se na produtividade potencial uma redução para o período D25 em torno de 10% em comparação ao histórico atual, enquanto que para o período D55 essas perdas são da ordem de 16%. Já na produtividade atingível observam-se perdas de produtividade da ordem de 16% e 23% em relação ao cenário atual, respectivamente para os períodos D25 e D55.

Na Tabela 22 são apresentadas as médias das produtividades potencial (A) e atingível (B) para Santa Maria, RS, assim como os resultados do teste de Tukey a 5% para a comparação dos diferentes cenários.

Em Santa Maria, a produtividade potencial mais baixa foi observada no período D25, com média de 6228 kg ha^{-1}, no cenário A2 do modelo PRECIS. No mesmo cenário, contudo do modelo ETA, observou-se o pior desempenho para o período D55, com produtividade média da soja de 6007 kg ha^{-1}. O mesmo se observou na produtividade atingível para a qual as médias foram de 2463 e 2282 kg ha^{-1} respectivamente para os períodos D25 e D55. Em ambas as análises, o cenário A2 para os períodos D25 e D55 apresentou a menor produtividade média em relação aos demais cenários.

Tabela 22 – Produtividades potencial (A) e atingível (B) médias para a localidade de Santa Maria, RS (STMA), nos cenários atual e de aquecimento global, e suas variabilidades interanuais expressas pelo coeficiente de variação (CV)

STMA (A)			STMA (B)		
Produtividade Potencial (kg ha^{-1})			Produtividade Atingível (kg ha^{-1})		
Tratamentos	Médias	Resultado do teste	Tratamentos	Médias	Resultado do teste
EA2D55	6007	a	PA2D55	2282	a
PA2D55	6040	a	EA2D55	2304	a
PA2D25	6228	ab	EA2D25	2463	a
EA2D25	6231	ab	PA2D25	2470	a
PB2D55	6241	ab	PB2D55	2503	a
EB2D55	6332	b	EB2D55	2619	a
PB2D25	6287	b	PB2D25	2664	a
EB2D25	6435	bc	EB2D25	2692	a
HIST	6680	c	HIST	2972	a
CV (%) = 5,12			CV (%) = 71,87		

Em que: HIST: cenário atual; EA2D25: cenário A2 no período D25 pelo modelo ETA; EA2D55: cenário A2 no período D55 pelo modelo ETA; EB2D25: cenário B2 no período D25 pelo modelo ETA; EB2D55: cenário B2 período D55 pelo modelo ETA; PA2D25: cenário A2 no período D25 pelo modelo PRECIS; PA2D55: cenário A2 no período D55 pelo modelo PRECIS; PB2D25: cenário B2 no período D25 pelo modelo PRECIS; PB2D55: cenário B2 no período D55 pelo modelo PRECIS. Médias acompanhadas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de significância

Observa-se na produtividade potencial uma redução para o período D25 da ordem de 7% em comparação ao histórico atual, enquanto que para o período D55 essa redução foi da ordem de 11%. Já na produtividade atingível observam-se

perdas de produtividade da ordem de 18% e 24% em relação ao cenário atual, respectivamente para os períodos D25 e D55.

Na Tabela 23 são apresentadas as médias das produtividades potencial (A) e atingível (B) para Uruguaiana, RS, assim como os resultados do teste de Tukey a 5% para a comparação dos diferentes cenários.

Em Uruguaiana, a produtividade potencial mais baixa para o período D25 se observou no cenário A2 do modelo PRECIS, com média de 5959 kg ha^{-1}. No mesmo cenário também se observou o pior desempenho para o período D55, com média de 5516 kg ha^{-1}. A produtividade atingível mais baixa para o período D25 ocorreu no cenário A2 do modelo PRECIS, com média de 2135 kg ha^{-1}, enquanto que para o período D55 nesse mesmo cenário, a produtividade da soja foi em média de 1707 kg ha^{-1}.

Tabela 23 – Produtividades potencial (A) e atingível (B) médias para o município de Uruguaiana, RS (URUG) nos cenários atual e de aquecimento global, e suas variabilidades interanuais expressas pelo coeficiente de variação (CV)

URUG (A)			URUG (B)		
Produtividade Potencial (kg ha^{-1})			Produtividade Atingível (kg ha^{-1})		
Tratamentos	Médias	Resultado do teste	Tratamentos	Médias	Resultado do teste
PA2D55	5516	a	PA2D55	1707	a
PB2D55	5866	b	PB2D55	2062	a
EA2D55	5909	b	EA2D55	2073	a
PA2D25	5959	bc	PA2D25	2135	a
PB2D25	6131	cd	EA2D25	2328	a
EA2D25	6145	cd	PB2D25	2346	a
EB2D55	6283	de	EB2D55	2465	a
EB2D25	6434	e	EB2D25	2666	a
HIST	6692	f	HIST	2928	a
CV (%) = 4,28			CV (%) = 70,60		

Em que: HIST: cenário atual; EA2D25: cenário A2 no período D25 pelo modelo ETA; EA2D55: cenário A2 no período D55 pelo modelo ETA; EB2D25: cenário B2 no período D25 pelo modelo ETA; EB2D55: cenário B2 período D55 pelo modelo ETA; PA2D25: cenário A2 no período D25 pelo modelo PRECIS; PA2D55: cenário A2 no período D55 pelo modelo PRECIS; PB2D25: cenário B2 no período D25 pelo modelo PRECIS; PB2D55: cenário B2 no período D55 pelo modelo PRECIS. Médias acompanhadas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de significância

Observa-se na produtividade potencial uma redução para o período D25 em torno de 11% em comparação ao histórico atual, enquanto que para o período D55 essas perdas são da ordem de 18%. Já para a produtividade atingível, observam-se

perdas de produtividade da ordem de 28% e 42% em relação ao cenário atual, respectivamente para os períodos D25 e D55.

Na Tabela 24 são apresentadas as médias das produtividades potencial (A) e atingível (B) para Bagé, RS, assim como os resultados do teste de Tukey a 5% para a comparação dos diferentes cenários.

Em Bagé, a produtividade potencial mais baixa para o período D25 ocorreu no cenário A2 do modelo PRECIS, com média de 6296 kg ha^{-1}. No mesmo cenário também observou-se o pior desempenho da produtividade da soja para o período D55, com média de 5995 kg ha^{-1}. O mesmo ocorreu com a produtividade atingível, com médias de 1433 e 1261 kg ha^{-1} respectivamente para os períodos D25 e D55. Em ambas as análises, o cenário A2 para os períodos D25 e D55 foi o que apresentou os menores valores médios de produtividade.

Tabela 24 – Produtividades potencial (A) e atingível (B) médias para a localidade de Bagé, RS (BAGE) nos cenários atual e de aquecimento global, e suas variabilidades interanuais expressas pelo coeficiente de variação (CV)

BAGE (A)			BAGE (B)		
Produtividade Potencial (kg ha^{-1})			Produtividade Atingível (kg ha^{-1})		
Tratamentos	Médias	Resultado do teste	Tratamentos	Médias	Resultado do teste
PA2D55	5995	a	PA2D55	1261	a
EA2D55	6226	ab	EA2D55	1373	a
PB2D55	6271	bc	PB2D55	1433	a
PA2D25	6296	bc	PA2D25	1433	a
EA2D25	6413	bcd	EA2D25	1546	a
PB2D25	6461	bcd	EB2D55	1572	a
EB2D55	6507	cd	PB2D25	1591	a
EB2D25	6644	de	EB2D25	1701	a
HIST	6817	e	HIST	1887	a
CV (%) = 4,72			CV (%) = 96,26		

Em que: HIST: cenário atual; EA2D25: cenário A2 no período D25 pelo modelo ETA; EA2D55: cenário A2 no período D55 pelo modelo ETA; EB2D25: cenário B2 no período D25 pelo modelo ETA; EB2D55: cenário B2 período D55 pelo modelo ETA; PA2D25: cenário A2 no período D25 pelo modelo PRECIS; PA2D55: cenário A2 no período D55 pelo modelo PRECIS; PB2D25: cenário B2 no período D25 pelo modelo PRECIS; PB2D55: cenário B2 no período D55 pelo modelo PRECIS. Médias acompanhadas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de significância

Observa-se na produtividade potencial uma redução da ordem de 8% para o período D25 em comparação ao histórico atual, enquanto que para o período D55 essa redução foi da ordem de 13%. Para a produtividade atingível da soja,

observam-se reduções da ordem de 25% e 34% em relação ao cenário atual, respectivamente para os períodos D25 e D55.

Na Tabela 25 são apresentadas as médias das produtividades potencial (A) e atingível (B) para Pelotas, RS, assim como os resultados do teste de Tukey a 5% para a comparação dos diferentes cenários.

Em Pelotas, a produtividade potencial mais baixa ocorreu no período D25 para o cenário A2 do modelo ETA, com média de 6097 kg ha^{-1}. No mesmo cenário, contudo do modelo PRECIS observou-se o pior desempenho para o período D55, com média de 5910 kg ha^{-1}. O mesmo se observou para a produtividade atingível com valores médios de 992 e 853 kg ha^{-1} respectivamente para os períodos D25 e D55. Em ambas as análises, o cenário A2 para os períodos D25 e D55 foi o que apresentou os menores valores médios de produtividade.

Tabela 25 – Produtividades potencial (A) e atingível (B) médias para a localidade de Pelotas, RS (PELO), nos cenários atual e de aquecimento global, e suas variabilidades interanuais expressas pelo coeficiente de variação (CV)

PELO (A)			PELO (B)		
Produtividade Potencial (kg ha^{-1})			Produtividade Atingível (kg ha^{-1})		
Tratamentos	Médias	Resultado do teste	Tratamentos	Médias	Resultado do teste
PA2D55	5910	a	EA2D55	853	a
EA2D55	5963	a	PA2D55	880	a
PB2D55	6091	ab	EB2D55	971	a
EA2D25	6097	ab	PA2D25	992	a
PA2D25	6100	ab	EA2D25	995	a
EB2D55	6173	b	PB2D55	1010	a
PB2D25	6218	b	PB2D25	1067	a
EB2D25	6272	b	EB2D25	1072	a
HIST	6465	c	HIST	1262	a
CV (%) = 3,84			CV (%) = 71,99		

Em que: HIST: cenário atual; EA2D25: cenário A2 no período D25 pelo modelo ETA; EA2D55: cenário A2 no período D55 pelo modelo ETA; EB2D25: cenário B2 no período D25 pelo modelo ETA; EB2D55: cenário B2 período D55 pelo modelo ETA; PA2D25: cenário A2 no período D25 pelo modelo PRECIS; PA2D55: cenário A2 no período D55 pelo modelo PRECIS; PB2D25: cenário B2 no período D25 pelo modelo PRECIS; PB2D55: cenário B2 no período D55 pelo modelo PRECIS. Médias acompanhadas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de significância

Observa-se na produtividade potencial uma redução para o período D25 em torno de 6% em comparação ao histórico atual, enquanto que para o período D55 essa redução foi da ordem de 9%. Para a produtividade atingível, observam-se

perdas de produtividade da soja da ordem de 22% e 33% em relação ao cenário atual, respectivamente para os períodos D25 e D55.

Na Tabela 26 são apresentadas as combinações de modelos (ETA e PRECIS) e cenários (A2 e B2) que determinaram as maiores penalidades sobre a produtividade média da cultura da soja, para as treze localidades estudadas e os dois períodos futuros considerados D25 (2013-2043) e D55 (2041-2071).

As maiores reduções, tanto para a produtividade potencial quanto para a produtividade atingível, foram ocasionadas pelo cenário A2, sendo este o mais drástico, pessimista e com maior estimativa de aquecimento (IPCC, 2007a).

De um modo geral, a variabilidade interanual das produtividades da soja foram baixas para a potencial, para todos os cenários, com o CV (%) variando, em média, de 3,07 a 7,07%. Já para a produtividade atingível, essa variabilidade foi bem mais expressiva, como o CV (%) entre 35,19 a 96,26%, havendo um aumento deste o norte para o Sul da Região Sul.

Tabela 26 – Cenários nos quais foram estimadas as maiores penalizações da produtividade média da cultura da soja nas localidades estudadas

		Produtividades			
		Potencial		Atingível	
Estado	Localidade	D25	D55	D25	D55
PR	Londrina	ETA A2	ETA A2	ETA A2	ETA A2
	Campo Mourão	ETA A2	ETA A2	ETA A2	ETA A2
	Palotina	ETA A2	ETA A2	ETA A2	ETA A2
	Castro	ETA A2	ETA A2	ETA A2	ETA A2
	Cascavel	ETA A2	ETA A2	ETA A2	ETA A2
SC	Chapecó	PRECIS A2	PRECIS A2	ETA A2	PRECIS A2
	Campos Novos	PRECIS A2	PRECIS A2	PRECIS A2	PRECIS A2
RS	Passo Fundo	PRECIS A2	PRECIS A2	PRECIS A2	PRECIS A2
	Cruz Alta	PRECIS A2	PRECIS A2	PRECIS A2	PRECIS A2
	Santa Maria	PRECIS A2	ETA A2	ETA A2	PRECIS A2
	Uruguaiana	PRECIS A2	PRECIS A2	PRECIS A2	PRECIS A2
	Bagé	PRECIS A2	PRECIS A2	PRECIS A2	PRECIS A2
	Pelotas	ETA A2	PRECIS A2	PRECIS A2	ETA A2

Quanto ao modelo climático, observou-se que tanto o ETA quanto o PRECIS foram responsáveis por reduções elevadas da produtividade da soja no sul do Brasil. De uma forma geral, observou-se que o modelo ETA gerou dados climáticos mais restritivos ao cultivo da soja, reduzindo as produtividades nos locais mais ao norte, especialmente no estado do Paraná, enquanto que o modelo PRECIS gerou séries

de dados climáticos futuros mais restritivos ao cultivo da soja nas localidades mais ao sul, predominantemente em Santa Catarina e no Rio Grande do Sul, com algumas poucas exceções (Tabela 26).

Como observado na Tabela 26, o modelo ETA, em todas as localidades do estado do Paraná, tanto para o período D25 quanto para o D55, apresentou-se como o que mais penalizou as produtividades médias de soja. Este mesmo modelo também se apresentou como o mais drástico para a produtividade potencial em Pelotas, RS, no período D25, e em Santa Maria, RS, no período D55. Para Chapecó, SC, e Santa Maria, RS, para o período D25, e em Pelotas, RS, para período D55, o modelo ETA também foi o que promoveu as maiores reduções de produtividade.

Já o modelo PRECIS foi o mais drástico nas localidades de Campos Novos, SC, Bagé, Cruz Alta, Passo Fundo e Uruguaiana, RS, em ambos os períodos e produtividades. Também se apresentou como o modelo que mais penalizou a produtividade potencial nas localidades de Chapecó, SC, nos períodos D25 e D55, de Pelotas, RS, no período D55, e em Santa Maria, RS, no período D25. O PRECIS também foi o modelo que mais penalizou a produtividade atingível da soja em Chapecó, SC, no período D55, Pelotas, RS, no período D25, e Santa Maria, RS, no período D55.

4.3 Espacialização da produtividade da cultura da soja na região Sul do Brasil

4.3.1 Produtividade potencial

Na Figura 6 são apresentados os mapas com a distribuição espacial de produtividade potencial da soja para a região sul do Brasil, estimados para os diferentes cenários climáticos. Observa-se, de maneira geral, que as produtividades potenciais foram maiores nas latitudes mais elevadas da região Sul do Brasil, o que pode ser explicado pelo maior fotoperíodo e pela disponibilidade de radiação solar mais intensa nessas latitudes nos meses de outubro a março (PEREIRA et al., 2002), os quais correspondem aos meses de cultivo da cultura da soja. À medida que se caminha para o norte há uma clara tendência de redução da produtividade potencial (Figura 6). As maiores classes de produtividade potencial (Figura 6) foram

observadas nas estimativas a partir das séries climáticas atuais, havendo sensível redução das estimativas com base nos cenários climáticos futuros, principalmente no cenário A2 projetados para o período D55 (2041-2071), onde os acréscimos de temperatura são maiores, provocando redução drástica do ciclo da cultura e, consequentemente, redução da produtividade.

Nos mapas dos cenários gerados pelo modelo ETA, em relação ao cenário histórico atual, são apresentadas faixas de valores menores, para as localidades do estado do Paraná exceto Castro, e em especial Palotina no cenário B2 para o período D25, Campos Novos, SC (exceto no cenário B2 para o período D25, onde não houve reduções suficientes para haver mudança na classe de produtividade), e no estado do Rio Grande do Sul, nas localidades de Passo Fundo e Cruz Alta (exceto para o cenário A2 para o período D55), Santa Maria, Bagé, Pelotas e Uruguaiana (exceto Santa Maria, Pelotas e Uruguaiana para o cenário A2 para o período D55).

Os mapas dos cenários do modelo PRECIS (Figura 6), comparados ao cenário histórico atual, mostram uma redução nas produtividades, principalmente na região de fronteira do Rio Grande Do Sul com o Uruguai, e em especial para a localidade de Uruguaiana, RS (nos cenários A2, no período D25 e B2 no período D55). O mesmo ocorreu em Cruz Alta, RS. Por outro lado, em Palotina, PR, no cenário B2 no período D25, não se constatou reduções de produtividade suficientes para uma mudança de classe no mapa (Figura 6).

Pelos mapas apresentados (Figura 6), Palotina, PR, mostra-se como a localidade com a menor produtividade potencial já no cenário atual (HIST), projetando este mesmo padrão para a maioria dos cenários climáticos futuros.

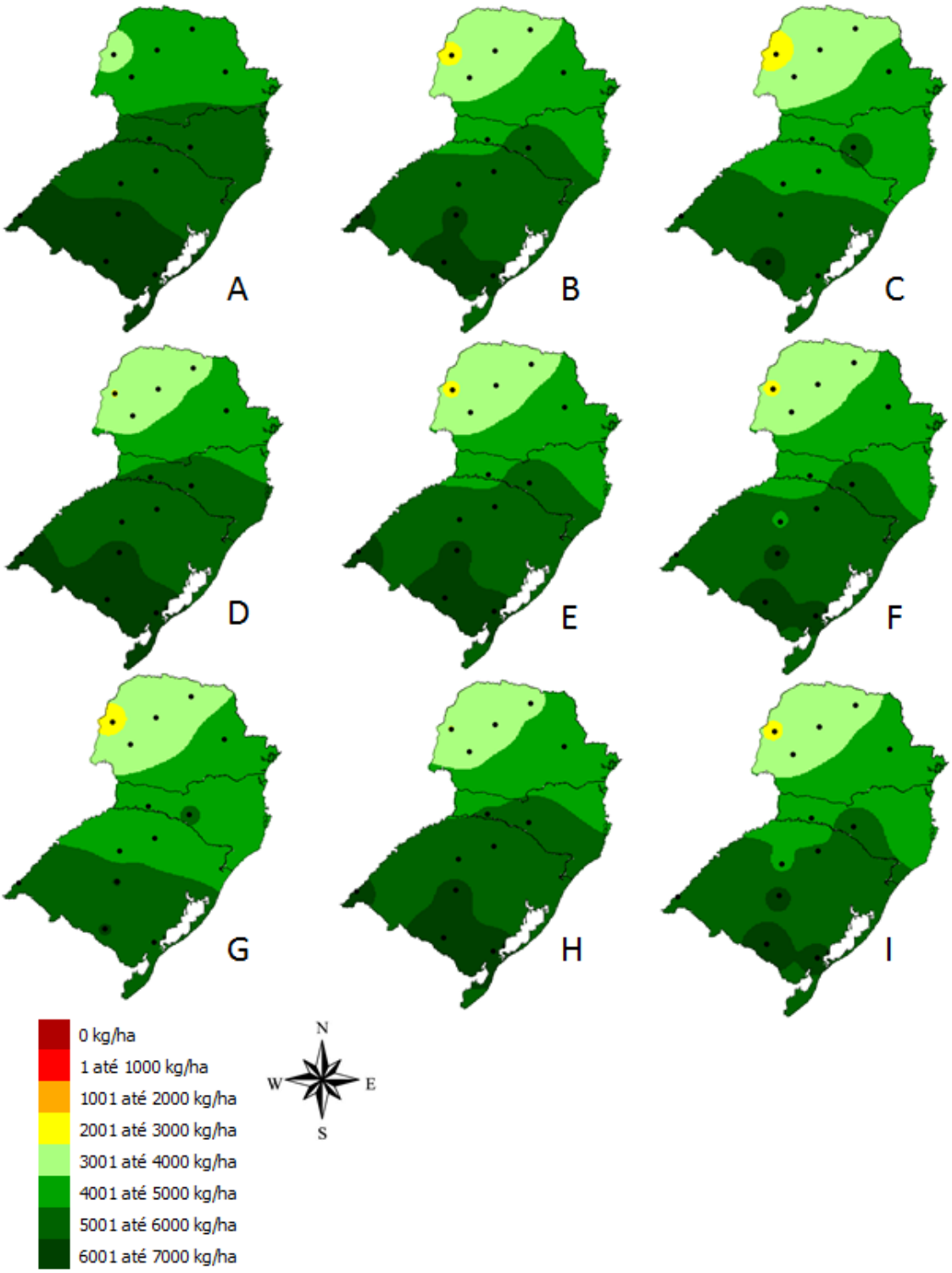

Figura 6 – Produtividade potencial (PP) estimada da cultura da soja na região Sul do Brasil, para as seguintes condições: A) Cenário Atual; B) Modelo ETA no cenário A2 no período D25; C) Modelo ETA no cenário A2 no período D55; D) Modelo ETA no cenário B2 no período D25; E) Modelo ETA no cenário B2 no período D55; F) Modelo PRECIS no cenário A2 no período D25; G) Modelo PRECIS no cenário A2 no período D55; H) Modelo PRECIS no cenário B2 no período D25; e I) Modelo PRECIS no cenário B2 no período D55

4.3.2 Produtividade atingível

Na Figura 7 são apresentados os mapas com a distribuição espacial da produtividade atingível para a região sul do Brasil, estimados para os diferentes cenários climáticos.

No estado do Paraná, as produtividades estimadas para a série climática atual (histórica) foram maiores do que 3000 kg ha^{-1} nas localidades de Cascavel e Castro, enquanto que para as demais localidades do estado a produtividade atingível oscilou entre 2400 e 3000 kg $ha^{-1.}$ Também nessa faixa de produtividade se encontram os municípios de Chapecó, SC, de Passo Fundo, Cruz Alta, Santa Maria, e Uruguaiana, no estado do Rio Grande do Sul. Produtividades entre 1800 e 2400 kg ha^{-1} foram observadas nos municípios de Campos Novos, SC e Bagé, RS. Em Pelotas, no extremo sul do RS, foi onde foram obtidas as menores produtividades, abaixo dos 1800 kg ha^{-1}.

Perdas de produtividade foram observadas em todas as localidades para o cenário A2 do modelo ETA, sendo essas menos expressivas nas localidades de Cruz Alta, para os períodos D25 e D55, e Santa Maria, para o período D55. Também foi projetada redução de produtividade da soja quando se empregou o modelo PRECIS para o mesmo cenário (A2) em todas as localidades, porém, com menor intensidade em Campo Mourão, Cruz Alta e Santa Maria, para o período D25.

Nos cenários B2 os efeitos do aquecimento global sobre as temperaturas máximas e mínimas não foram tão drásticos, afetando menos as estimativas da produtividade, contudo ainda apresentando perdas em comparação ao cenário atual em todas as localidades, tanto pelo emprego do modelo ETA quanto pelo modelo PRECIS. Apesar disso, nas localidades de Campo Mourão, Cruz Alta, Santa Maria e Uruguaiana, essas perdas não chegaram a afetar a faixa de produtividade em que cada uma delas se encontra, para ambos os períodos (D25 e D55).

Os resultados possibilitaram observar que os efeitos mais drásticos dos cenários de aquecimento global foram para as áreas da região Sul do Brasil em que as condições atuais já são mais restritivas ao cultivo da soja, ou seja, nas regiões mais quentes e com regimes pluviométricos (volume e distribuição) mais irregulares. Neste caso, merecem destaque a porção mais meridional do estado do Rio Grande do Sul e a localidade de Palotina no estado do Paraná.

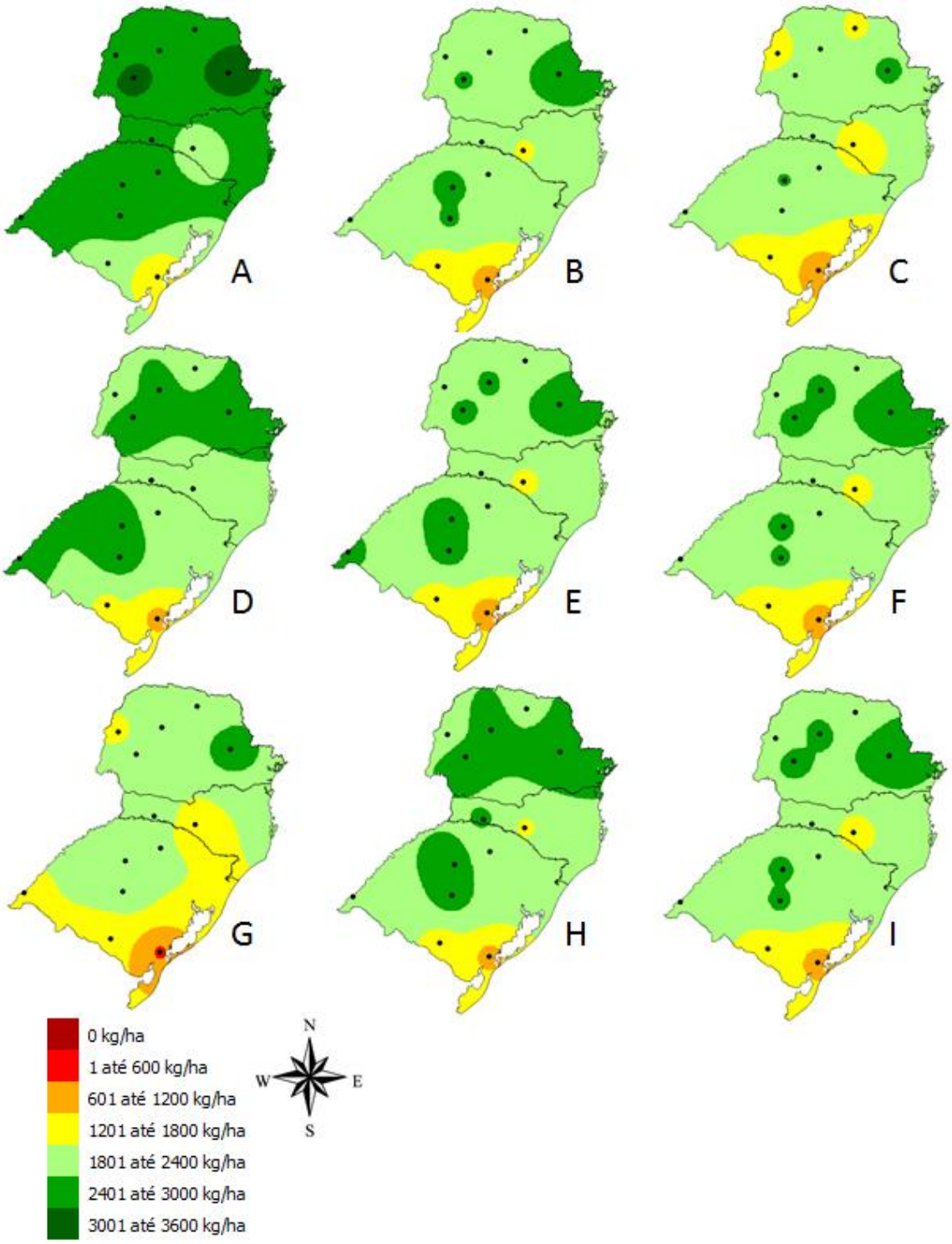

Figura 7 – Produtividade atingível (PA) estimada da cultura da soja na região Sul do Brasil, para as seguintes condições: A) Cenário Atual; B) Modelo ETA no cenário A2 no período D25; C) Modelo ETA no cenário A2 no período D55; D) Modelo ETA no cenário B2 no período D25; E) Modelo ETA no cenário B2 no período D55; F) Modelo PRECIS no cenário A2 no período D25; G) Modelo PRECIS no cenário A2 no período D55; H) Modelo PRECIS no cenário B2 no período D25; e I) Modelo PRECIS no cenário B2 no período D55

4.3.3 Produtividade relativa

Na Figura 8 são apresentados os mapas de produtividade relativa, definida pela relação entre as produtividades atingível e potencial (PA/PP) para a região sul do Brasil, a qual expressa a eficiência climática da região (BATTISTI et al., 2013).

Observa-se que os maiores valores de produtividade relativa, ao redor de 0,70, foram observados para o estado do Paraná. No estado de Santa Catarina e meio-norte do Rio Grande do Sul, os valores de PA/PP foram da ordem de 0,50, enquanto que para a região da fronteira do Rio Grande do Sul com o Uruguai os valores obtidos foram os mais baixos, da ordem de 0,20, o que é explicado pelo fato dessa região apresentar as maiores produtividades potenciais (Figura 6), porém as menores produtividades atingíveis (Figura 7), decorrente dos frequentes veranicos característicos da região.

Para as condições futuras, observa-se que o cenário A2 apresenta consequências mais drásticas para a cultura da soja do que o cenário B2, tanto pelos dados gerados pelo modelo ETA como pelo modelo PRECIS, assim como para os dois períodos (D25 e D55) estudados.

Todos os cenários futuros, de maneira geral, mostraram produtividades relativas menores do que o observado no cenário atual, decorrente de uma intensificação dos déficits hídricos, afetando a PA, já que para a PP os impactos são menos drásticos, assim como observado por Ruiz-Vera et al. (2013), nos EUA.

Na Figura 9 são apresentados os mapas de produtividade relativa com base na produtividade atingível máxima (PA/PAmax) para a região sul do Brasil. Os valores foram muito semelhantes aos da produtividade relativa com base na produtividade potencial. Na produtividade relativa com base na produtividade atingível máxima, observa-se que os maiores valores, em torno de 0,70, ocorrem no estado do Paraná. Em Santa Catarina e no meio-norte do RS, as produtividades relativas ficaram em torno de 0,50, enquanto que no extremo sul da região as produtividades relativas foram da ordem de 0,40.

Ao se analisar o cenário A2, observa-se que o mesmo promove uma menor produtividade em relação ao cenário B2, para ambos os modelos climáticos (ETA e PRECIS) e períodos estudados (D25 e D55).

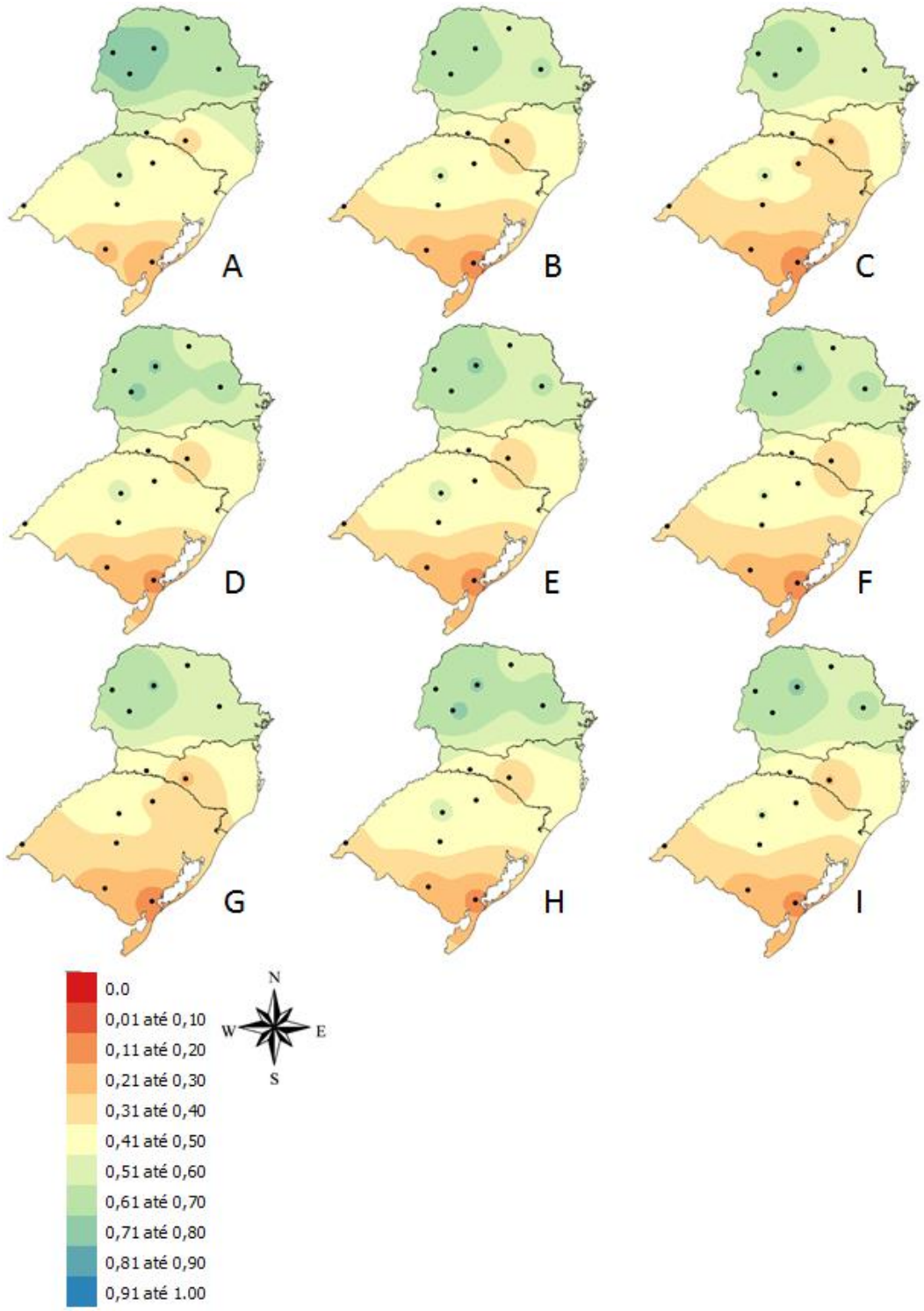

Figura 8 – Produtividade relativa (PA/PP) estimada da cultura da soja na região Sul do Brasil, para as seguintes condições: A) Cenário Atual; B) Modelo ETA no cenário A2 no período D25; C) Modelo ETA no cenário A2 no período D55; D) Modelo ETA no cenário B2 no período D25; E) Modelo ETA no cenário B2 no período D55; F) Modelo PRECIS no cenário A2 no período D25; G) Modelo PRECIS no cenário A2 no período D55; H) Modelo PRECIS no cenário B2 no período D25; e I) Modelo PRECIS no cenário B2 no período D55

De maneira geral, quando se analisa os mapas das produtividades relativas (Figuras 8 e 9), a potencialidade produtiva tende a diminuir com os acréscimos de temperaturas do ar em todos os cenários avaliados, com menores produtividades para o período D55 em relação ao período D25 e em relação ao cenário atual. Nota-se que as produtividades apresentam valores mais baixos, por exemplo, na região sul do RS, possivelmente sob condições de regime de chuvas mais irregular, o que concorda com os resultados do zoneamento agrícola e de épocas de semeadura para a soja no Rio Grande do Sul, apresentados por Cunha et al. (2001). Dallacort et al. (2005), ajustando os coeficientes genéticos de soja do modelo de simulação CSM-Cropgro-Soybean, para a região Noroeste do Estado do Paraná, observaram que a distribuição da precipitação pluviométrica e o déficit hídrico foram os fatores que mais influenciaram o crescimento e a produtividade da cultura da soja nessa região. Os resultados deste estudo também concordam com os apresentados por Battisti (2013), que ao usar um modelo de estimativa da produtividade da FAO também observou um melhor desempenho da cultura da soja nas áreas mais ao norte da região Sul do Brasil, ao passo que no extremo sul do país, foi onde se observou as maiores reduções de produtividade, em decorrência de períodos de seca frequentes nessas áreas.

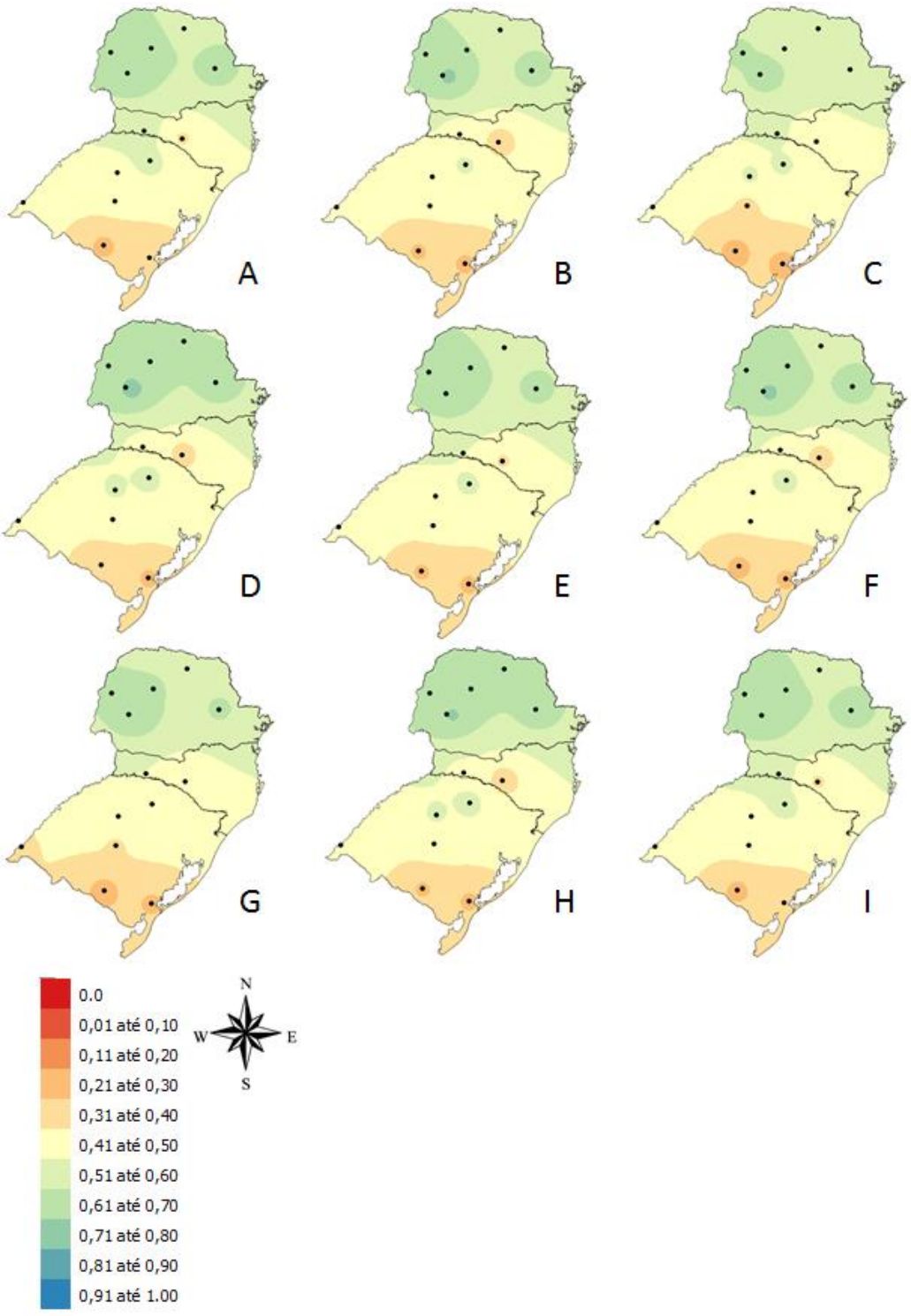

Figura 9 – Produtividade relativa com base na produtividade atingível máxima (PA/PAmax) estimada para a cultura da soja na região Sul do Brasil, para as seguintes condições: A) Cenário Atual; B) Modelo ETA no cenário A2 no período D25; C) Modelo ETA no cenário A2 no período D55; D) Modelo ETA no cenário B2 no período D25; E) Modelo ETA no cenário B2 no período D55; F) Modelo PRECIS no cenário A2 no período D25; G) Modelo PRECIS no cenário A2 no período D55; H) Modelo PRECIS no cenário B2 no período D25; e I) Modelo PRECIS no cenário B2 no período D55

4.4 Risco climático para o cultivo da soja na região Sul do Brasil

Na Figura 10 é apresentada a distribuição espacial do risco climático à cultura da soja, para os diferentes cenários estudados, com base na produtividade potencial. Esse risco informa qual a probabilidade de ocorrer quebra de produtividade superior a 65%.

Seguindo-se a classificação apresentada na Tabela 8, para o cenário atual, com base na produtividade potencial (Figura 10), as localidades Campo Mourão, Palotina, Castro e Cascavel se localizam em áreas de baixo risco. Já as localidades de Londrina e Cruz Alta apresentam risco moderado, enquanto que nas localidades Chapecó, Campos Novos, Passo Fundo, Santa Maria e Uruguaiana o risco é alto. No extremo sul do RS, onde se encontram as localidades de Bagé e Pelotas, o risco é muito alto, o que explica a pouca vocação dessas áreas para o cultivo da soja (CUNHA et al., 2001).

Para todos os cenários climáticos futuros observa-se um maior risco para o cultivo da soja, seja pelas projeções apresentadas pelo modelo ETA ou PRECIS. As localidades de Pelotas e Campo Mourão, não apresentaram variabilidade da faixa de risco climático em função do cenário avaliado, porém em Pelotas as condições continuam sendo de alto risco climático, enquanto que Campo Mourão apresenta-se com uma das localidades com os menores riscos em todos os cenários (Figura 10).

Em decorrência das projeções de um aquecimento menos acentuado, os riscos climáticos projetados para os cenários B2 são nitidamente menores do que aqueles projetados para os cenários A2. Pela mesma razão, os riscos climáticos para a cultura da soja tendem a aumentar com o passar dos anos, esperando-se maiores riscos para a série climática projetada para o período D55 (2041-2071).

Independentemente do cenário considerado, verifica-se na Figura 10 que os maiores riscos climáticos para a cultura da soja concentram-se no extremo sul da região meridional do Brasil, destacando-se a região de Pelotas como a de maior risco.

Já na região oeste do Paraná, representada pelas localidades de Cascavel, Palotina e Campo Mourão, são observados os menores riscos climáticos para o cultivo da soja em todos os cenários, merecendo consideração especial a região de Campo Mourão, cujo risco climático estimado ficou dentro de uma mesma faixa, independentemente do cenário avaliado (Figura 10).

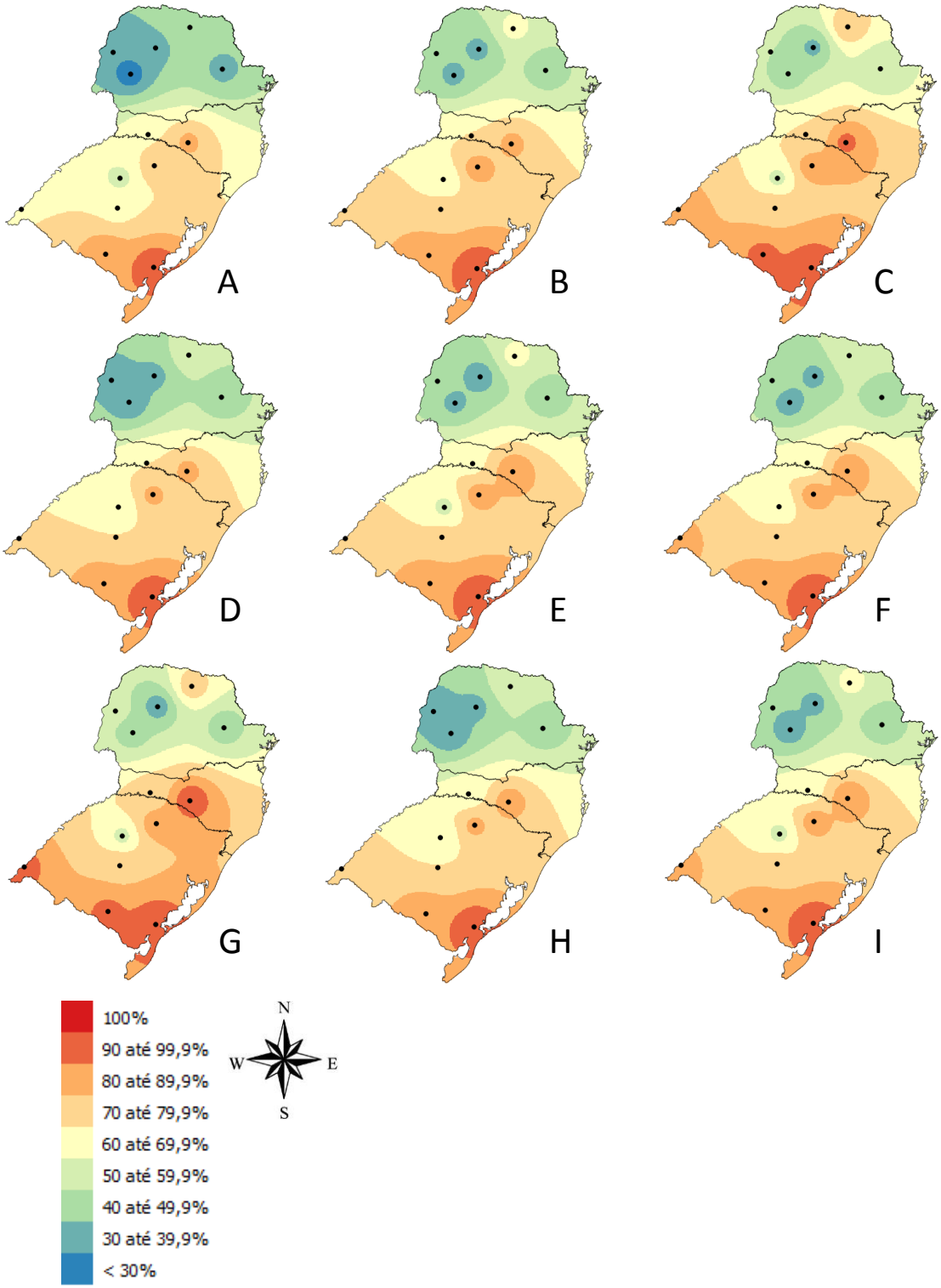

Figura 10 – Risco climático para a cultura da soja na região sul do Brasil, com base na produtividade potencial, para as seguintes condições: A) Cenário Atual; B) Modelo ETA no cenário A2 no período D25; C) Modelo ETA no cenário A2 no período D55; D) Modelo ETA no cenário B2 no período D25; E) Modelo ETA no cenário B2 no período D55; F) Modelo PRECIS no cenário A2 no período D25; G) Modelo PRECIS no cenário A2 no período D55; H) Modelo PRECIS no cenário B2 no período D25; e I) Modelo PRECIS no cenário B2 no período D55

Na Figura 11 é apresentada a distribuição espacial do risco climático à cultura da soja, para os diferentes cenários estudados, com base na produtividade atingível máxima. Os resultados obtidos são muito semelhantes aos encontrados para o risco climático para a cultura da soja, estimado par os diferentes cenários, com base na produtividade potencial.

De acordo com a classificação apresentada na Tabela 8, para o cenário atual, com base na produtividade atingível máxima (Figura 11), as localidades Campo Mourão e Cascavel estão entre as de menor risco. Em Londrina, Palotina e Castro, o risco é moderado, ao passo que em Chapecó, Cruz Alta e Santa Maria o risco é alto. Finalmente, para as localidades de Campos Novos, Passo Fundo, Uruguaiana, Bagé e Pelotas, o risco é muito alto (Figura 11).

Novamente, a região de Pelotas, RS, apresenta-se com a de maior risco climático para o cultivo da soja, se mantendo nessa mesma classe para todos os demais cenários climáticos analisados.

Justino et al. (2013), avaliando a variabilidade interanual de produtividade da cultura da soja no Brasil sob condições de aquecimento global, observaram que no cenário A2, houve um aumento da produtividade potencial da soja em até 60%. No entanto, para as produtividades, sob condição de sequeiro, os autores observaram maiores variabilidades interanuais e espaciais nos cenários de aquecimento do que nas condições atuais. Ainda de acordo com os autores, medidas de adaptação e manejo do solo podem atenuar parcialmente o efeito negativo das alterações climáticas.

De acordo com Streck e Alberto (2006), que estudaram os impactos das mudanças climáticas na produtividade da soja, o aquecimento global projetado para os próximos 100 anos, com aumentos de 2 a 6 ºC, influenciará negativamente na produtividade dessa cultura em Santa Maria, RS. Além disso, os autores observaram que esses aumentos na temperatura do ar irão anular os efeitos benéficos do aumento de CO_2 atmosférico no rendimento da soja.

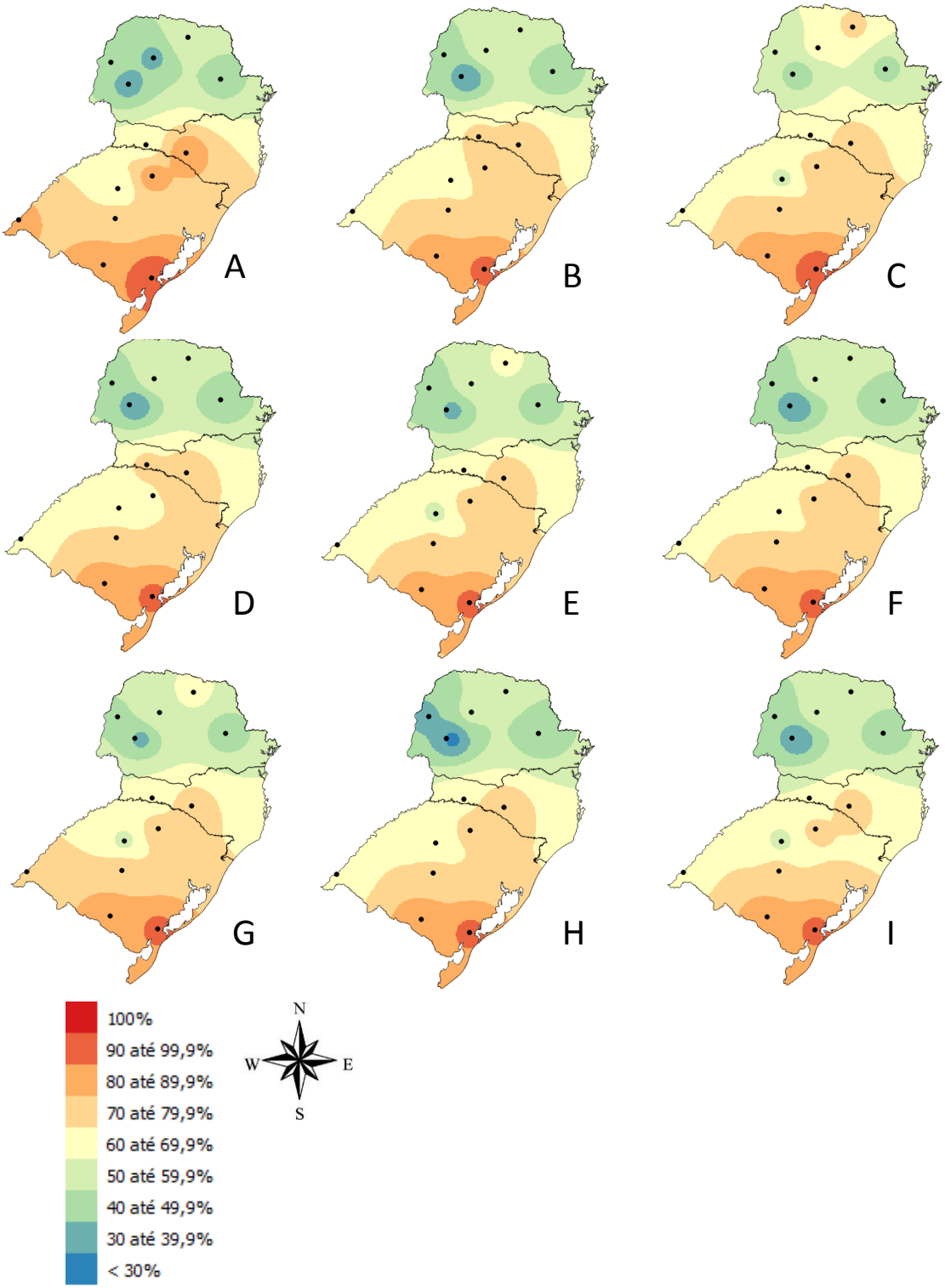

Figura 11 – Risco climático para a cultura da soja na região sul do Brasil, com base na produtividade atingível máxima, para as seguintes condições: A) Cenário Atual; B) Modelo ETA no cenário A2 no período D25; C) Modelo ETA no cenário A2 no período D55; D) Modelo ETA no cenário B2 no período D25; E) Modelo ETA no cenário B2 no período D55; F) Modelo PRECIS no cenário A2 no período D25; G) Modelo PRECIS no cenário A2 no período D55; H) Modelo PRECIS no cenário B2 no período D25; e I) Modelo PRECIS no cenário B2 no período D55

4.5 Estratégias de manejo da época de semeadura para minimização dos impactos das mudanças climáticas

Como estratégia para minimizar os efeitos do aquecimento do ar sobre a cultura da soja foi avaliada a variação do período de semeadura da cultura, nos diferentes locais, buscando-se identificar alternativas para reduzir os impactos nas produtividades. Os cenários mais drásticos (A2 ou B2 x ETA ou PRECIS) para cada série climática futura (D25 e D55) e local avaliado foram usados nesta análise, em que se empregaram épocas de semeadura anteriores e posteriores ao período atualmente recomendado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

A Figura 12 mostra o gráfico tipo *Boxplot* com os dados de produtividade atingível projetados para os cenários atual e futuros (A2 e B2, para os períodos D25 e D55), determinados pelos modelos ETA e PRECIS, para a localidade de Londrina.

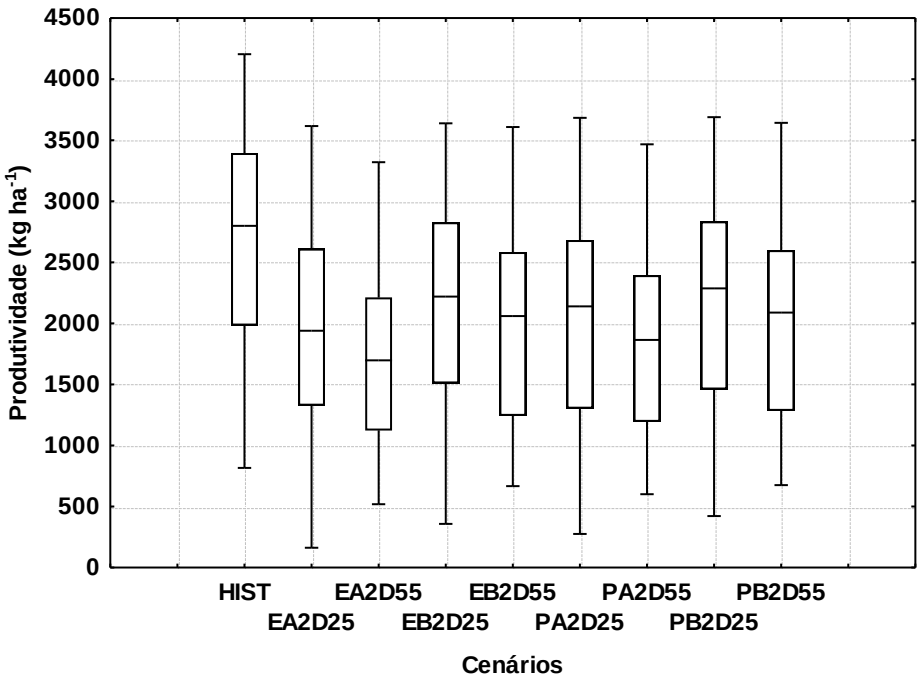

Figura 12 – Produtividade atingível da cultura da soja e sua variabilidade para o cenário atual e para cada um dos cenários futuros, em Londrina, PR

A Figura 13 apresenta as produtividades de grãos para as épocas de semeadura alternativas, sendo dois decêndios antecipados (S1 e S2) e mais dois tardios (S3 e S4) em relação à época recomendada (S0 – de 20 de outubro a 10 de

novembro) para a cultura da soja no cenário mais penalizado pelos impactos do aquecimento global, para os períodos D25 (2013-2043) e D55 (2041-2071).

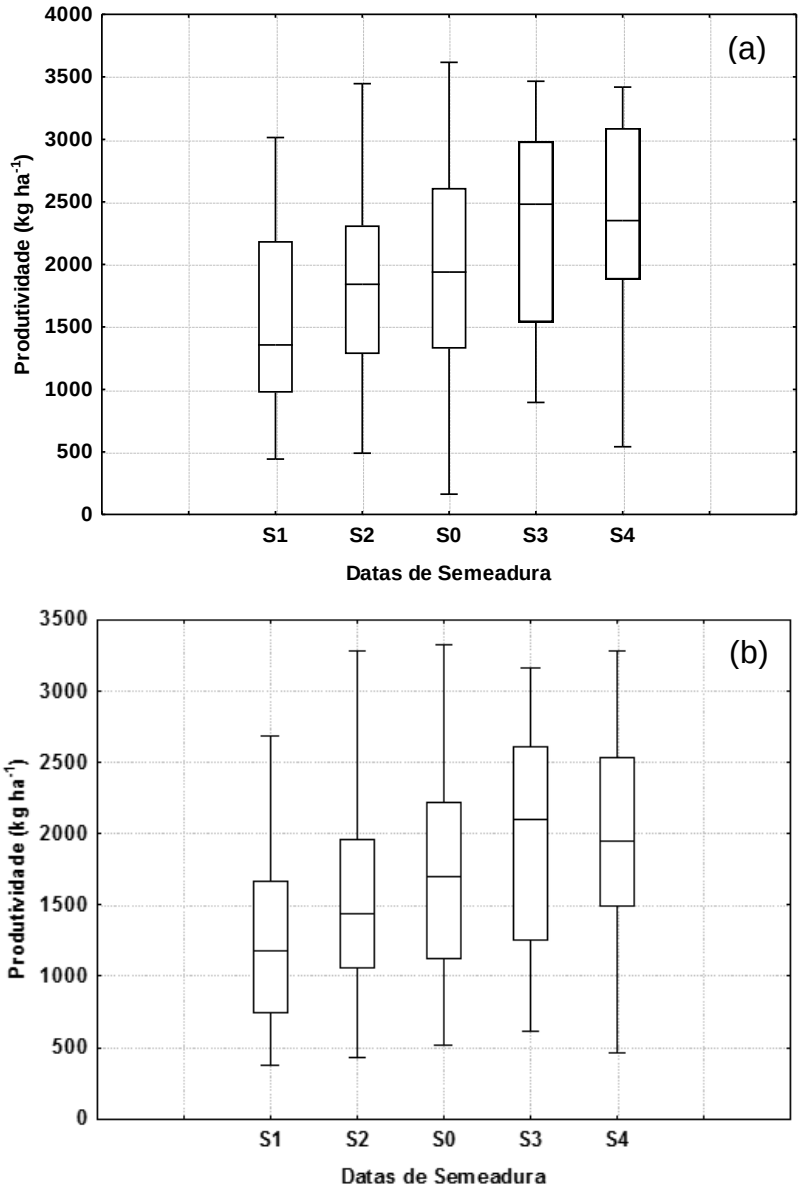

Figura 13 – Produtividade atingível da soja projetada para as semeaduras antecipadas e tardias para Londrina, PR, em que: a) Cenário ETA A2 no período D25; e b) Cenário ETA A2 no período D55

Os resultados apresentados na Figura 13 mostram que o atraso da semeadura tende a resultar em maiores produtividades na localidade de Londrina, sendo a semeadura em S3 a mais vantajosa, nos dois cenários avaliados, apesar de não haver diferenças que possam ser consideradas expressivas em relação às demais épocas. Além disso, observa-se que não há grandes diferenças em relação

à variabilidade interanual das produtividades, que se mantiveram praticamente as mesmas (Figura 13).

A Figura 14 são apresentados os dados de produtividade atingível projetados para os cenários atual e futuros (A2 e B2, para os períodos D25 e D55), determinados pelos modelos ETA e PRECIS, para a localidade de Campo Mourão. A Figura 15 apresenta as produtividades da soja para as semeaduras alternativas testadas, para o cenário mais penalizado pelos impactos do aquecimento global, para os períodos D25 (2013-2043) e D55 (2041-2071).

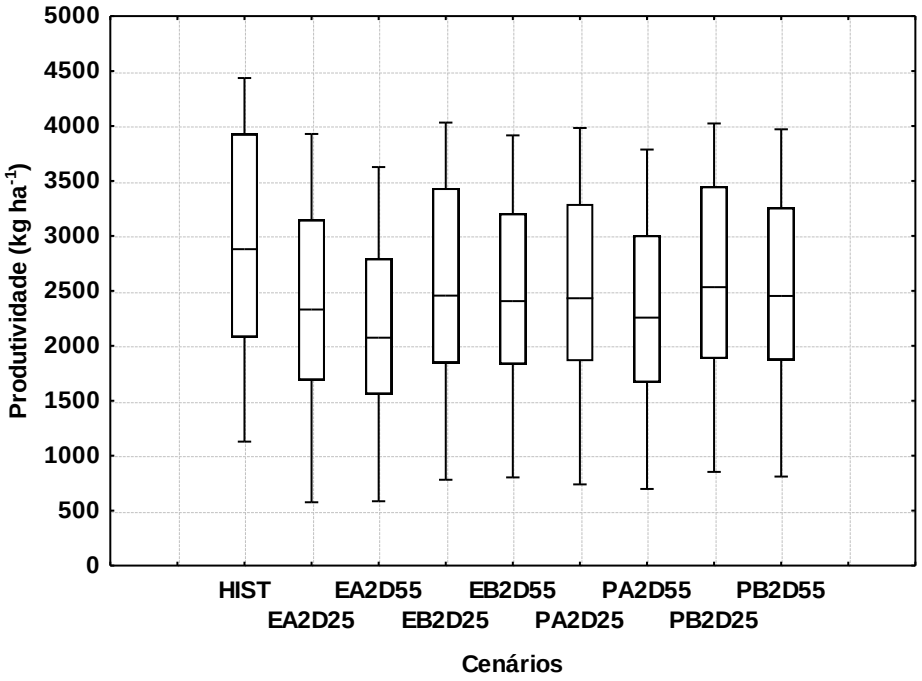

Figura 14 – Produtividade atingível da cultura da soja e sua variabilidade para o cenário atual e para cada um dos cenários futuros, em Campo Mourão, PR

Os dados apresentados na Figura 15 indicam que o atraso da semeadura da soja tende a resultar maiores rendimentos de grãos de soja para a localidade de Campo Mourão. No período D25, a semeadura tardia, no decêndio S4, mostrou-se a de melhor recomendação, por apresentar as maiores médias de produtividade de grãos em relação ao período atualmente recomendado (S0). Já, no período D55, a semeadura no decêndio imediatamente posterior (S3) ao recomendado promoveu ainda uma leve redução da amplitude dos rendimentos projetados, porém não alcançando valores máximos tão altos quanto os estimados para a semeadura realizada no período de 21 a 30 de novembro (S4).

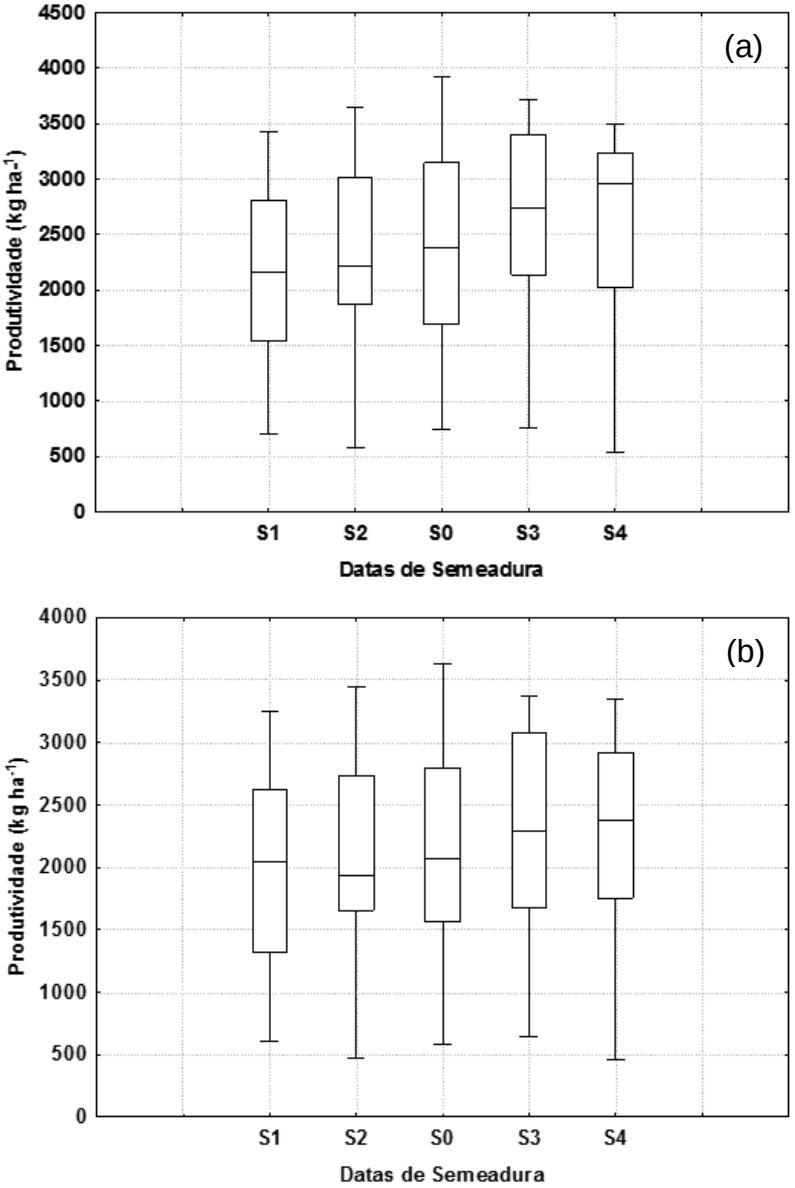

Figura 15 – Produtividade atingível da soja projetada para as semeaduras antecipadas e tardias para Campo Mourão, PR, em que: a) Cenário ETA A2 no período D25; e b) Cenário ETA A2 no período D55

A Figura 16 apresenta o gráfico tipo *Boxplot* com os dados das produtividades atingíveis projetadas para os cenários atual e futuros (A2 e B2, para os períodos D25 e D55), determinados pelos modelos ETA e PRECIS, para a localidade de Palotina. A Figura 17 apresenta as produtividades de grãos para as semeaduras alternativas, sendo dois decêndios antecipados (S1 e S2) e mais dois tardios (S3 e S4) em relação a época recomendada (S0 – de 20 de outubro a 10 de novembro) para a cultura da soja na região, para o cenário mais afetado pelo aquecimento global, para os períodos D25 (2013-2043) e D55 (2041-2071).

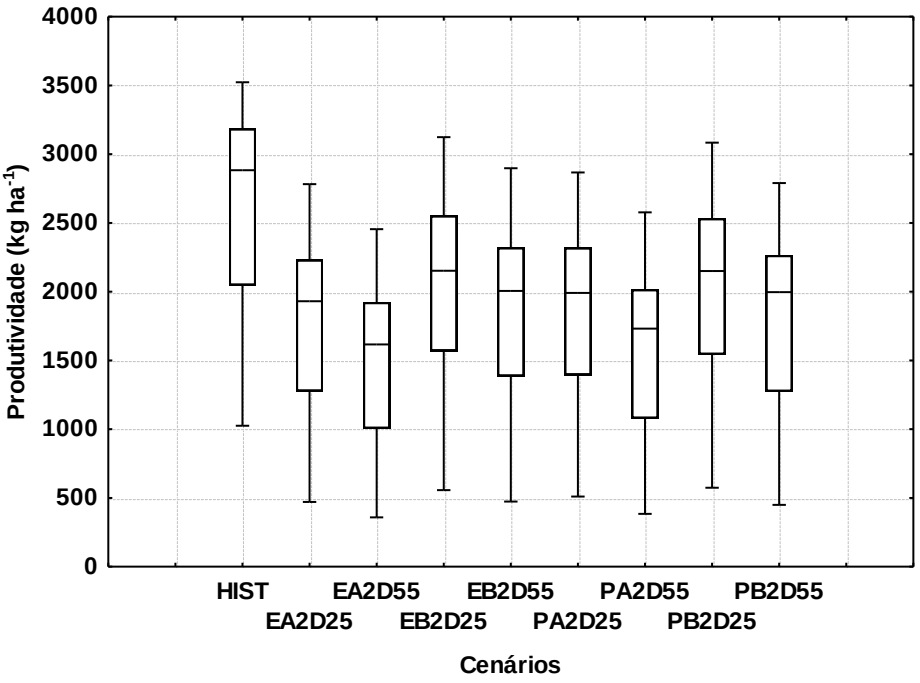

Figura 16 – Produtividade de grãos atingível pela cultura da soja e sua variabilidade para o cenário atual e para cada um dos cenários futuros, em Palotina, PR

Os resultados apresentados na Figura 17 mostram que com o atraso da semeadura há uma perspectiva de obtenção de maiores rendimentos de grãos de soja, no decêndio S3, para a localidade de Palotina. No período D25, a semeadura tardia no decêndio S3 mostrou-se a de melhor recomendação, por apresentar as maiores médias de produtividade de grãos em relação aos demais períodos de semeadura avaliados. Já no período D55, a semeadura no decêndio imediatamente posterior (S3) ao atualmente recomendado promoveu ainda uma leve redução da amplitude dos rendimentos projetados, especialmente nos valor mínimo que foi maior.

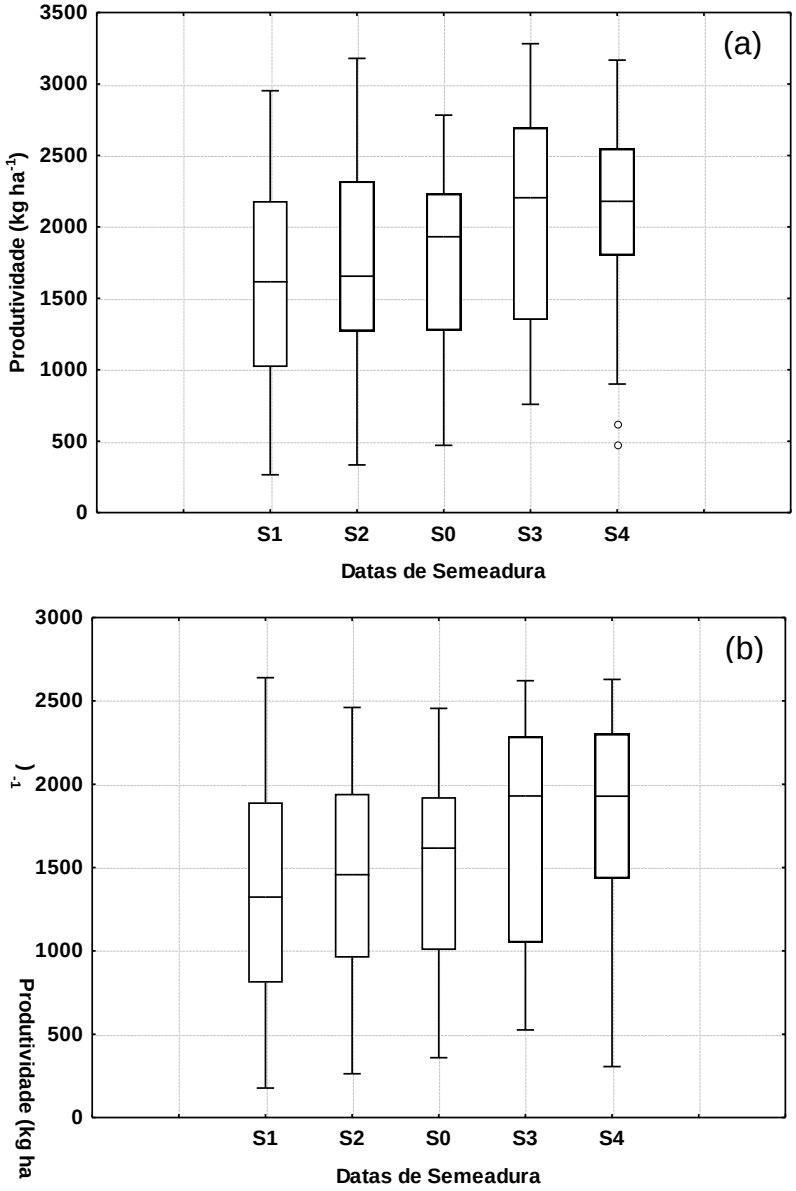

Figura 17 – Produtividade atingível da soja projetada para as semeaduras antecipadas e tardias para Palotina, PR, em que: a) Cenário ETA A2 no período D25; e b) Cenário ETA A2 no período D55

A Figura 18 apresenta o gráfico tipo *Boxplot* com os dados de produtividade atingível estimados para os cenários atual e futuros A2 e B2, para os períodos D25 e D55, determinados pelos modelos ETA e PRECIS, para a localidade de Castro. A Figura 19 apresenta as produtividades de grãos para as semeaduras alternativas, sendo duas antecipadamente (S1 e S2) e duas posteriormente (S3 e S4) ao período recomendado pelo MAPA (S0 – de 20 de outubro a 10 de novembro) para a cultura da soja, considerando-se os cenários mais impactantes do aquecimento global, para os períodos D25 (2013-2043) e D55 (2041-2071).

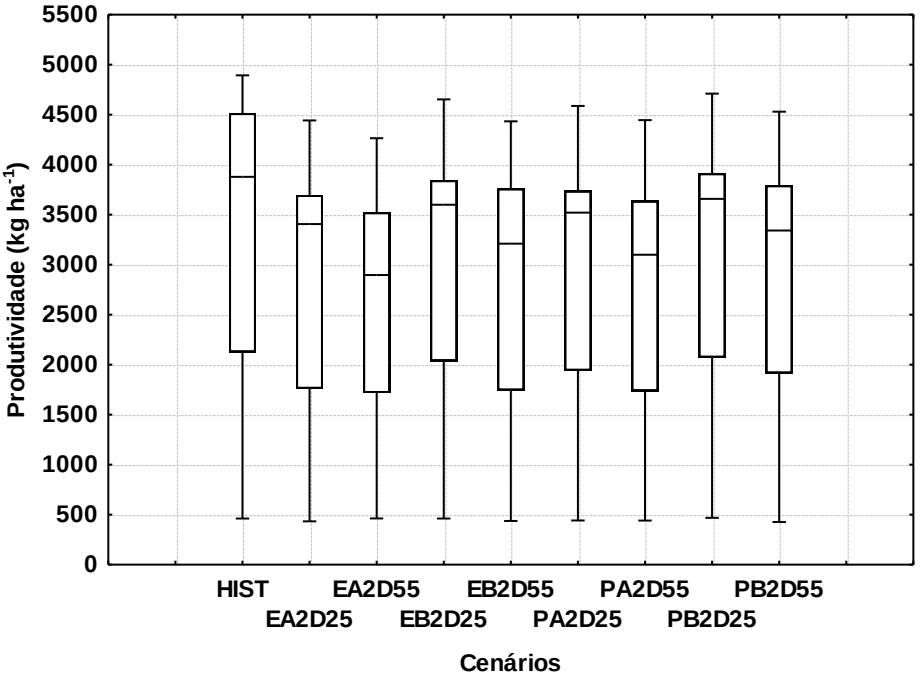

Figura 18 – Produtividade atingível da cultura da soja e sua variabilidade para o cenário atual e para cada um dos cenários futuros, em Castro, PR

Na região de Castro, os resultados apresentados na Figura 19 mostram que o atraso das semeaduras não resultou em maiores produtividades da cultura da soja. Em contrapartida, a antecipação das semeaduras levará a uma diminuição das produtividades, em ambos os cenários climáticos, o que, obviamente, é indesejado pelos produtores.

A Figura 20 apresenta o gráfico tipo *Boxplot* com os dados de produtividade atingível projetados para os cenários atual e futuros A2 e B2, para os períodos D25 e D55, determinados pelos modelos ETA e PRECIS, para a localidade de Cascavel. A Figura 21 apresenta as produtividades de grãos para as semeaduras alternativas, sendo dois decêndios antecipados (S1 e S2) e mais dois tardios (S3 e S4) em relação a época recomendada (S0 – de 20 de outubro a 10 de novembro) para a cultura da soja, considerando-se o cenário mais afetado pelos impactos do aquecimento global, para os períodos D25 (2013-2043) e D55 (2041-2071).

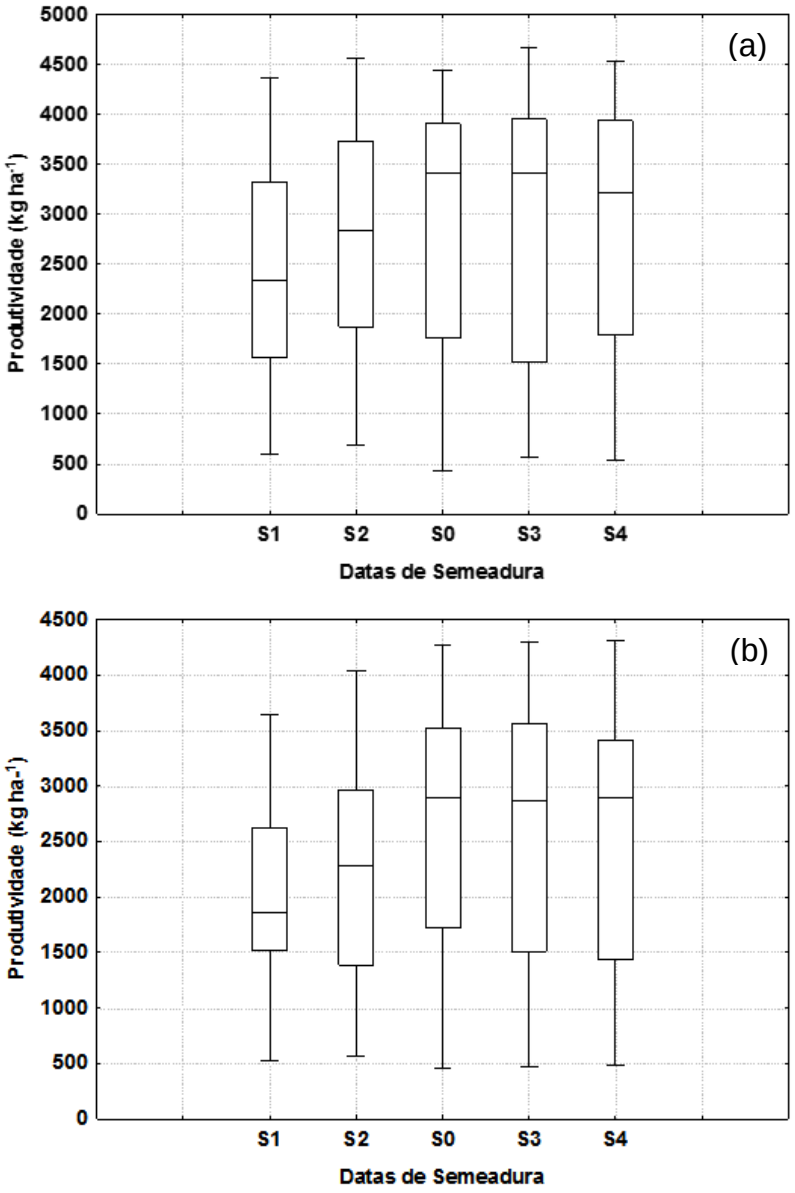

Figura 19 – Produtividade atingível da soja projetada para as semeaduras antecipadas e tardias para Castro, PR, em que: a) Cenário ETA A2 no período D25; e b) Cenário ETA A2 no período D55

Pelos resultados apresentados na Figura 21, verifica-se que atrasando a semeadura da soja em Cascavel há uma perspectiva de obtenção de maiores rendimentos de grãos de soja, na semeadura do decêndio S3. A semeadura no decêndio imediatamente posterior (S3) ao recomendado promoveu ainda menor amplitude dos rendimentos projetados, em ambos os períodos (D25 e D55), porém não alcançando valores máximos tão altos quanto àqueles obtidos para a semeadura na época recomendada (de 20 de outubro a 10 de novembro).

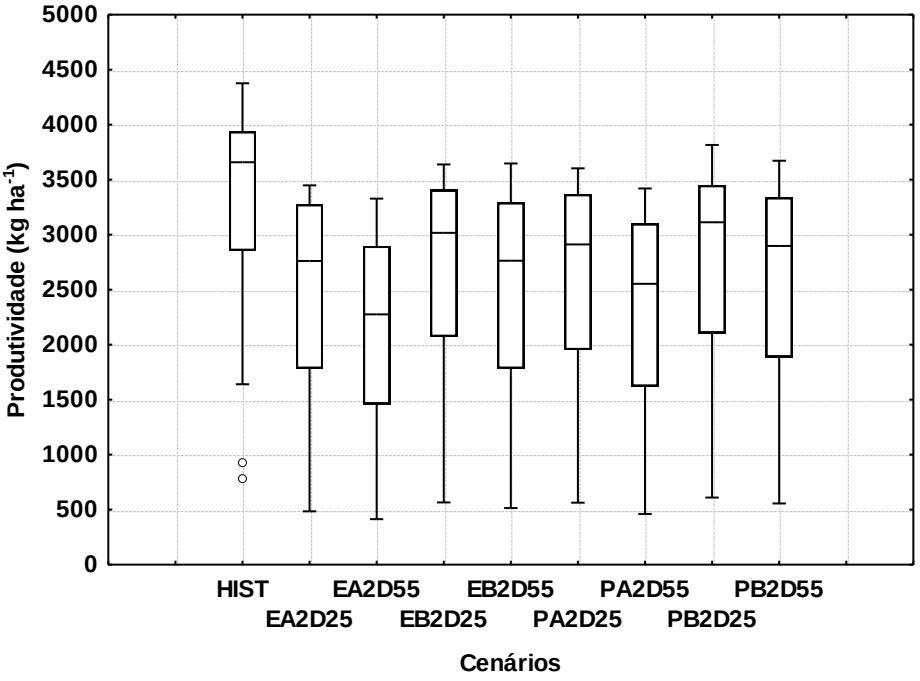

Figura 20 – Produtividade atingível da cultura da soja e sua variabilidade para o cenário atual e para cada um dos cenários futuros, em Cascavel, PR

A Figura 22 mostra o gráfico tipo *Boxplot* com os dados de produtividade atingível projetados para os cenários atual e futuros A2 e B2, para os períodos D25 e D55, determinados pelos modelos ETA e PRECIS, para a localidade de Chapecó. A Figura 23 apresenta as produtividades de grãos para as semeaduras alternativas testadas, sendo dois decêndios antecipados (S1 e S2) e mais dois tardios (S3 e S4) em relação à época recomendada (S0 – de 20 de outubro a 10 de novembro) para a cultura da soja, no cenário de maiores impactos do aquecimento global, para os períodos D25 (2013-2043) e D55 (2041-2071).

De acordo com os resultados apresentados na Figura 23 verifica-se que atrasando a semeadura há uma tendência de obtenção de maiores rendimentos de grãos de soja para a localidade de Chapecó, apesar da grande variabilidade interanual dessas produtividades.

Neste caso, foi a primeira vez que houve uma leve tendência de aumento da produtividade com a antecipação da semeadura. No entanto, tal tendência é muito sutil, não sendo possível se afirmar que tal alteração poderia estar sendo benéfica para a cultura da soja (Figura 23b).

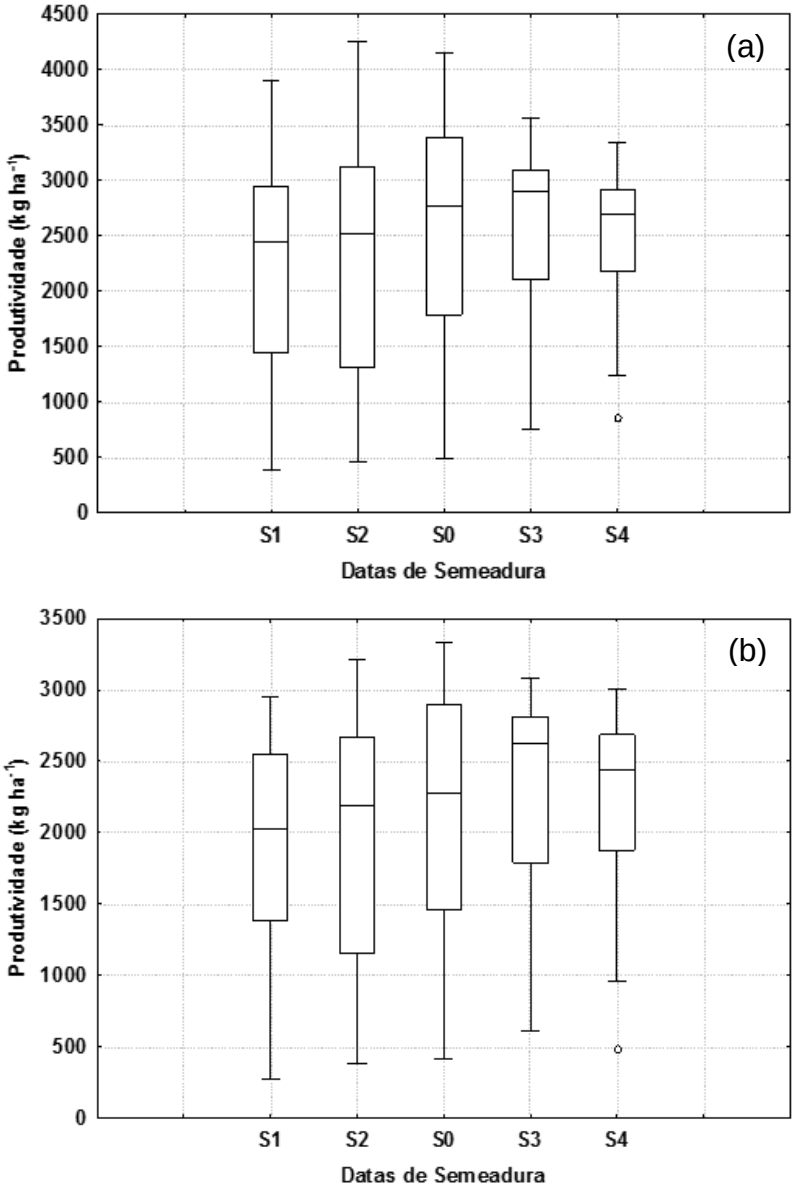

Figura 21 – Produtividade atingível da soja projetada para as semeaduras antecipadas e tardias para Cascavel, PR, em que: a) Cenário ETA A2 no período D25; e b) Cenário ETA A2 no período D55

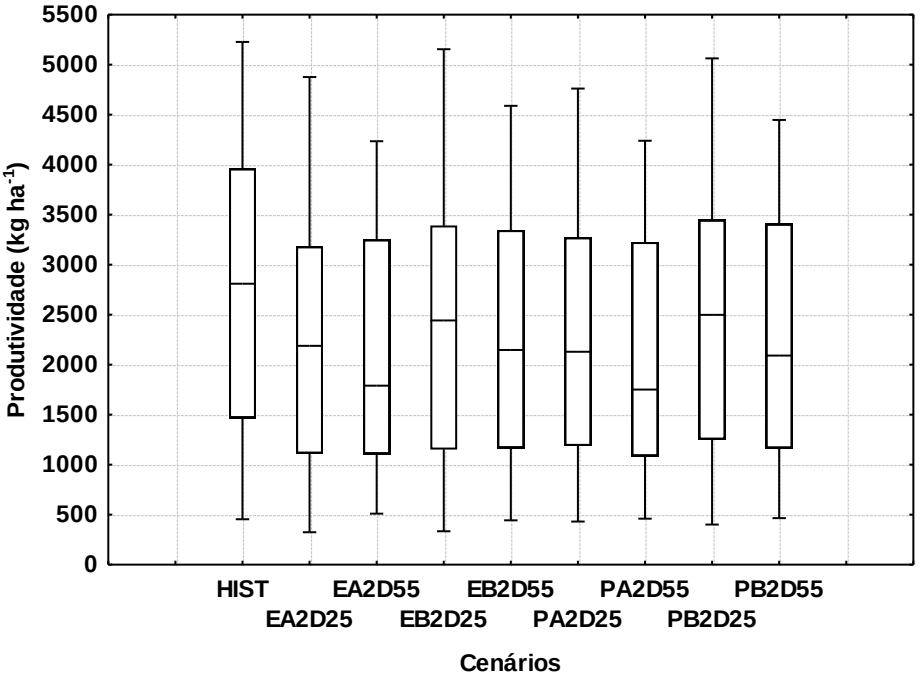

Figura 22 – Produtividade atingível da cultura da soja e sua variabilidade para o cenário atual e para cada um dos cenários futuros, em Chapecó, SC

A Figura 24 apresenta o gráfico tipo *Boxplot* com os dados de produtividade atingível projetados para os cenários atual e futuros A2 e B2, para os períodos D25 e D55, determinados pelos modelos ETA e PRECIS, para a localidade de Campos Novos. A Figura 25 apresenta as produtividades de grãos para as semeaduras alternativas testadas, sendo dois decêndios antecipados (S1 e S2) e mais dois tardios (S3 e S4) em relação à época recomendada (S0 – de 20 de outubro a 10 de novembro) para o cultivo da soja, no cenário climático de maior impacto para os períodos D25 (2013-2043) e D55 (2041-2071).

A partir dos dados obtidos com as semeaduras antecipadas e atrasadas (Figura 25), verifica-se que atrasando a semeadura da soja, tanto no período D25 quanto no D55, há uma tendência de obtenção de maiores rendimentos de grãos para a localidade de Campos Novos. A semeadura no decêndio S4 é a que deverá promover as melhores produtividades da soja em relação às demais épocas de semeadura avaliadas.

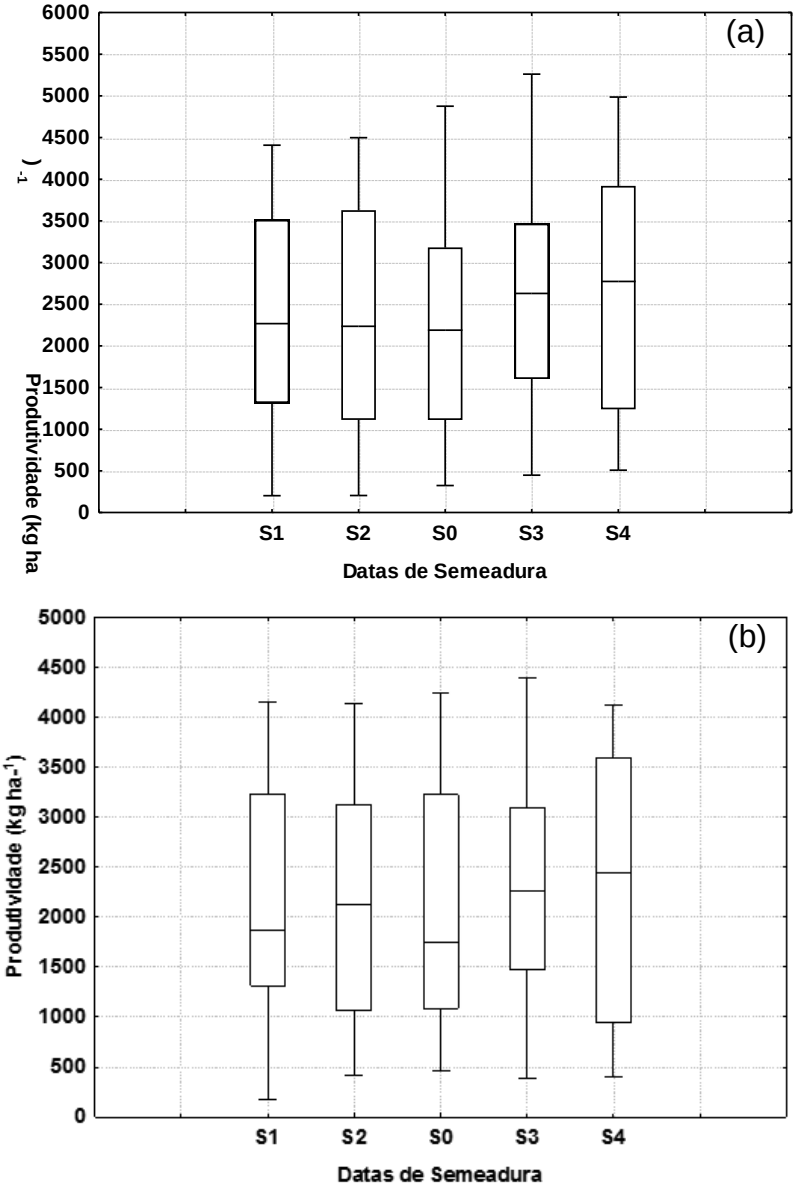

Figura 23 – Produtividade atingível da soja projetada para as semeaduras antecipadas e tardias para Chapecó, SC, em que: a) Cenário ETA A2 no período D25; e b) Cenário PRECIS A2 no período D55

A Figura 26 apresenta o gráfico tipo *Boxplot* com dados de produtividade atingível projetados para os cenários atual e futuros (A2 e B2), para os períodos D25 e D55, determinados pelos modelos ETA e PRECIS, para a localidade de Passo Fundo. A Figura 27 apresenta as produtividades para as semeaduras alternativas, sendo duas antecipadas (S1 e S2) e mais duas tardias (S3 e S4) em relação a época recomendada (S0 – de 20 de outubro a 10 de novembro) para a cultura da soja no cenário mais penalizado pelos impactos do aquecimento global, para os períodos D25 (2013-2043) e D55 (2041-2071).

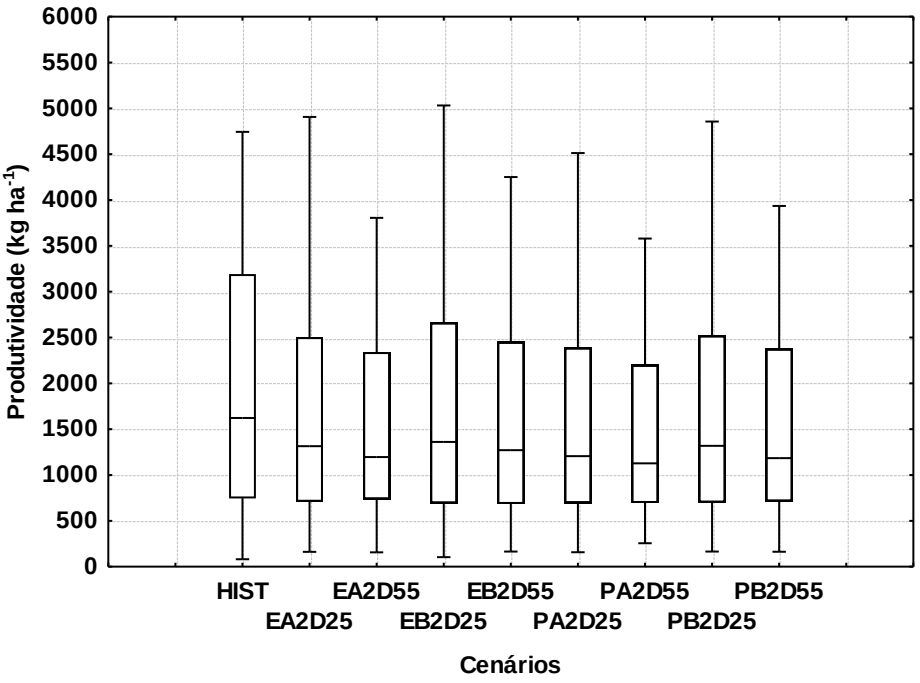

Figura 24 – Produtividade atingível da cultura da soja e sua variabilidade para o cenário atual e para cada um dos cenários futuros, em Campos Novos, SC

Como observado na Figura 27, as maiores produtividades nos cenários futuros foram simuladas nas semeaduras tardias, apesar de que também tenha sido observado um aumento das produtividades em semeaduras precoces em Passo Fundo. No entanto, tanto para o período D25 como para o D55 a semeadura tardia, no decêndio S4, foi a que apresentou as maiores produtividades em relação às demais épocas de semeadura avaliadas.

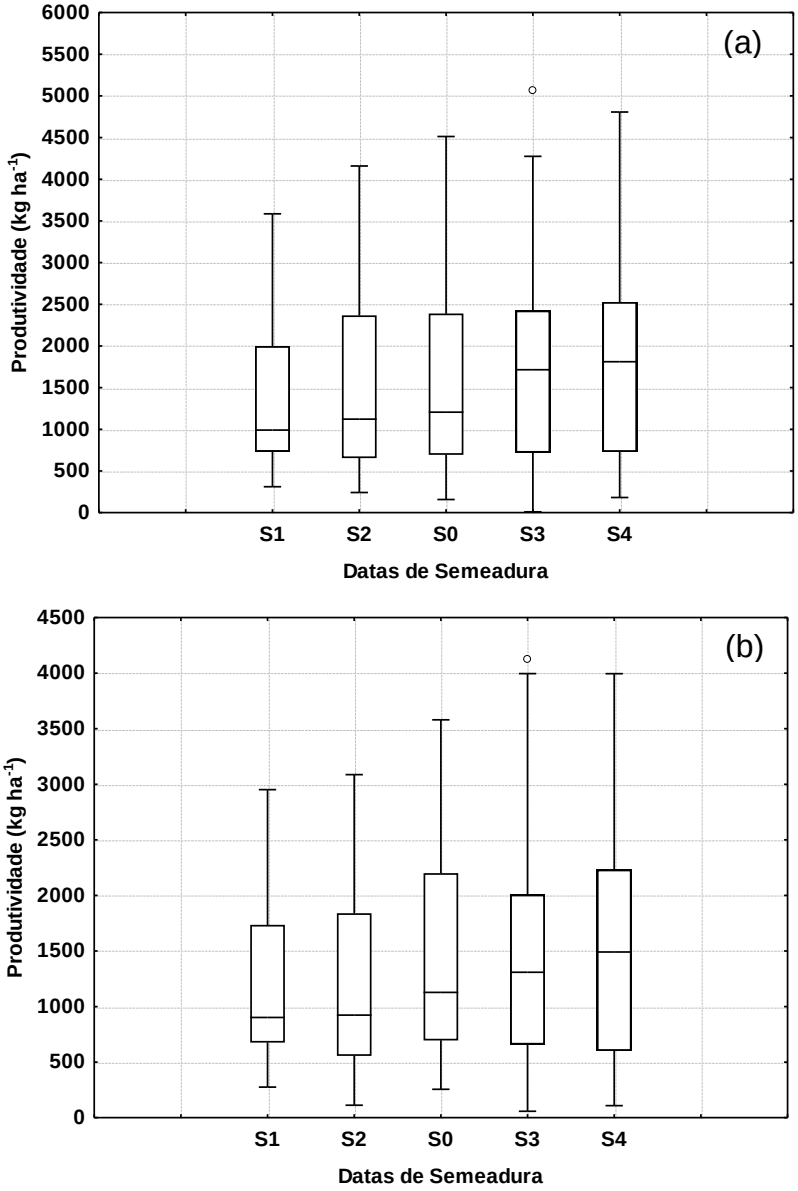

Figura 25 – Produtividade atingível da soja projetada para as semeaduras antecipadas e tardias para Campos Novos, SC, em que: a) Cenário PRECIS A2 no período D25; e b) Cenário PRECIS A2 no período D55

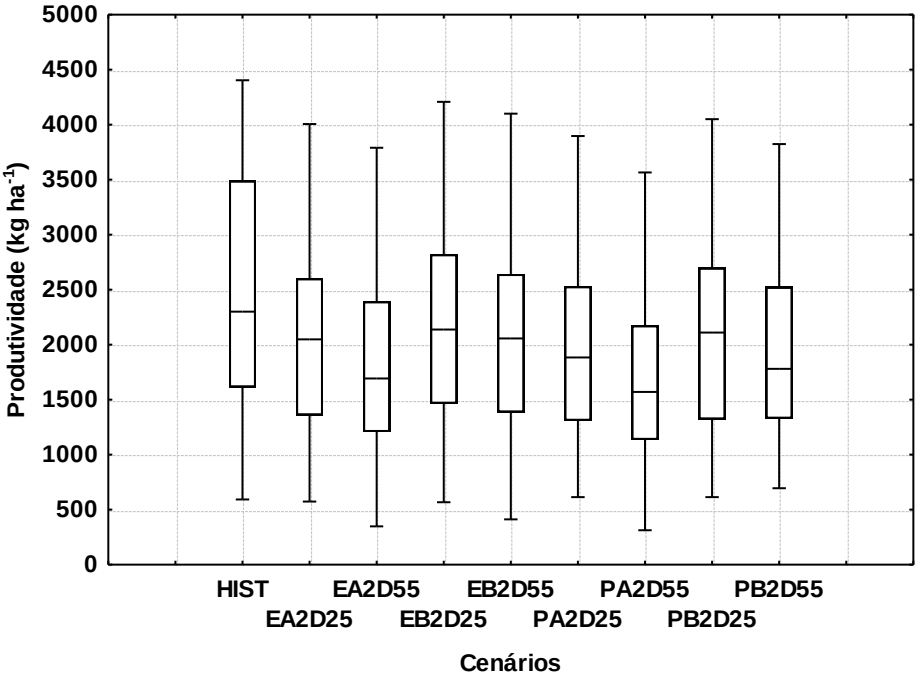

Figura 26 – Produtividade atingível da cultura da soja e sua variabilidade para o cenário atual e para cada um dos cenários futuros, em Passo Fundo, RS

A Figura 28 apresenta o gráfico tipo *Boxplot* com dados de produtividade atingível projetados para os cenários atual e futuros (A2 e B2), para os períodos D25 e D55, determinados pelos modelos ETA e PRECIS, para a localidade de Cruz Alta, RS. A Figura 29 apresenta as produtividades de grãos para as semeaduras alternativas testadas, sendo duas em dois decêndios antecipados (S1 e S2) e mais duas em dois decêndios tardios (S3 e S4) em relação à época recomendada (S0 – de 20 de outubro a 10 de novembro), para a cultura da soja, no cenário mais penalizado pelos impactos do aquecimento global, para os períodos D25 (2013-2043) e D55 (2041-2071).

De acordo com os dados apresentados na análise de sensibilidade (Figura 29), verifica-se que o atraso da semeadura (S4), no período D25, tende a resultar na obtenção de maiores produtividades de grãos de soja para a localidade de Cruz Alta, o que, no entanto, não foi observado no período D55, quando a produtividade foi maior nas semeaduras antecipadas (S1).

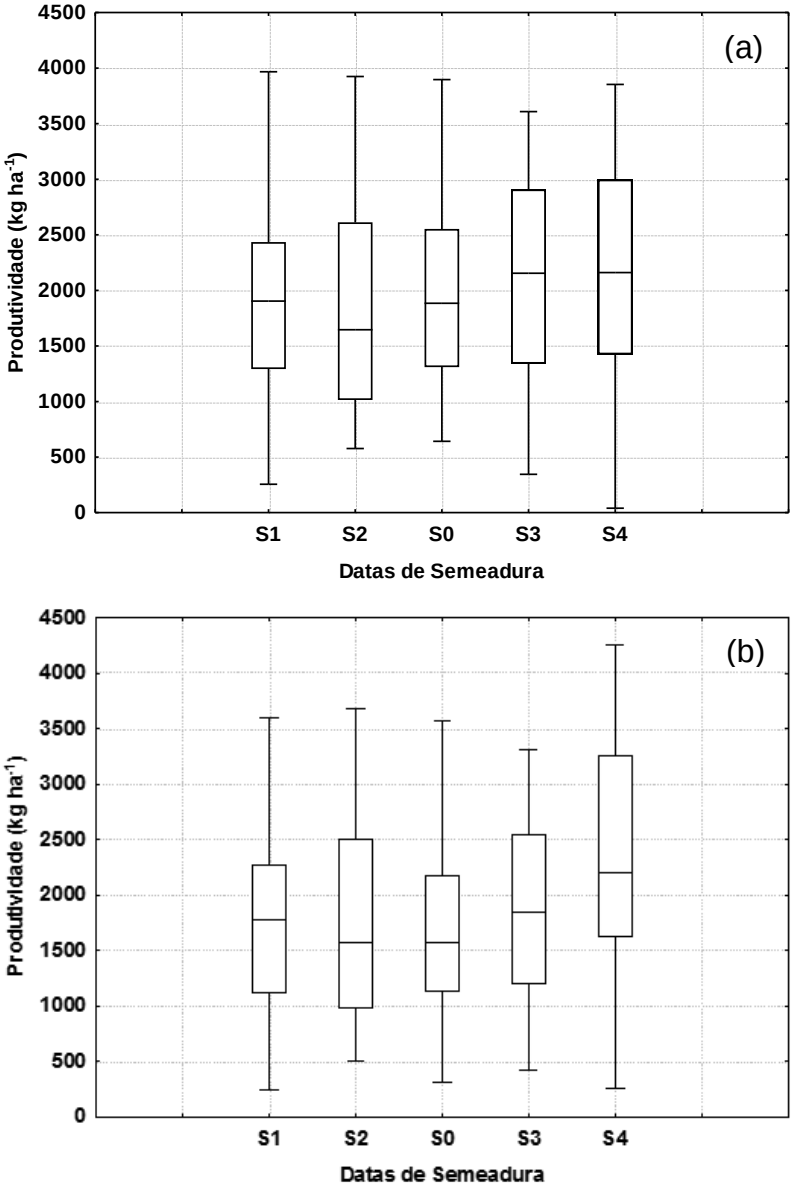

Figura 27 – Produtividade atingível da soja projetada para as semeaduras antecipadas e tardias para Passo Fundo, RS, em que: a) Cenário PRECIS A2 no período D25; e b) Cenário PRECIS A2 no período D55

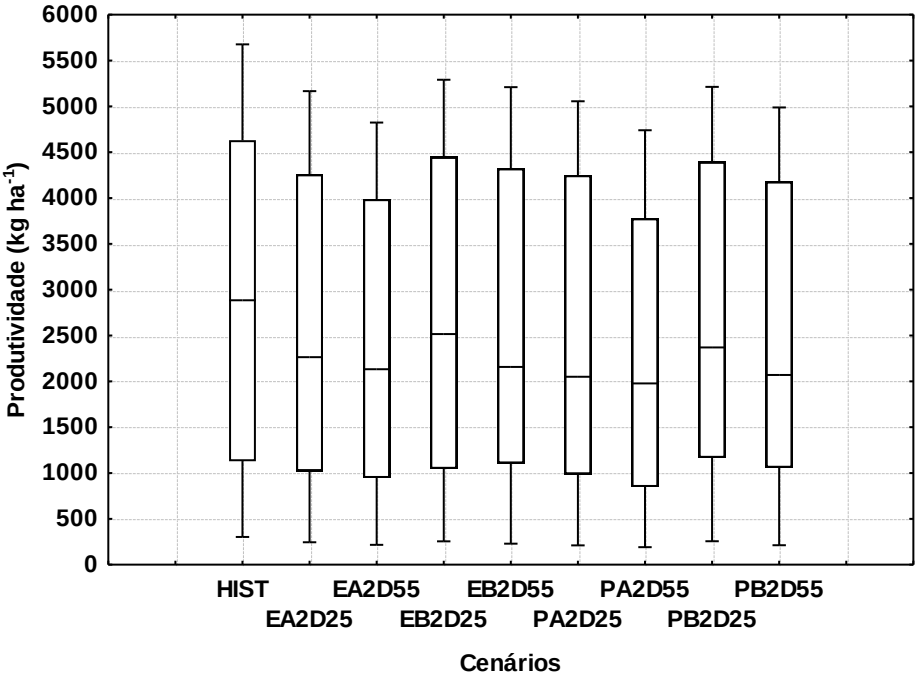

Figura 28 – Produtividade atingível da cultura da soja e sua variabilidade para o cenário atual e para cada um dos cenários futuros, em Cruz Alta, RS

A Figura 30 apresenta o gráfico tipo *Boxplot* com dados de produtividade atingível projetados para os cenários atual e futuros (A2 e B2), para os períodos D25 e D55, determinados pelos modelos ETA e PRECIS, para a localidade de Santa Maria, RS. A Figura 31 apresenta as produtividades de grãos para as semeaduras alternativas testadas, sendo dois decêndios antecipados (S1 e S2) e mais dois tardios (S3 e S4) em relação à época atualmente recomendada (S0 – de 20 de outubro a 10 de novembro) para a cultura da soja no cenário mais penalizado pelos impactos do aquecimento global, para os períodos D25 (2013-2043) e D55 (2041-2071).

Como observado na Figura 31, as maiores produtividades foram simuladas em semeaduras mais tardias. Contudo, semeando mais precocemente também houve aumento do rendimento de grãos em relação à época recomendada (S0) para a localidade de Santa Maria. Nos períodos D25 e D55 a semeadura tardia, no decêndio S4, mostrou-se a mais recomendada, por apresentar as maiores médias de produtividade de grãos em relação aos demais períodos de semeadura avaliados.

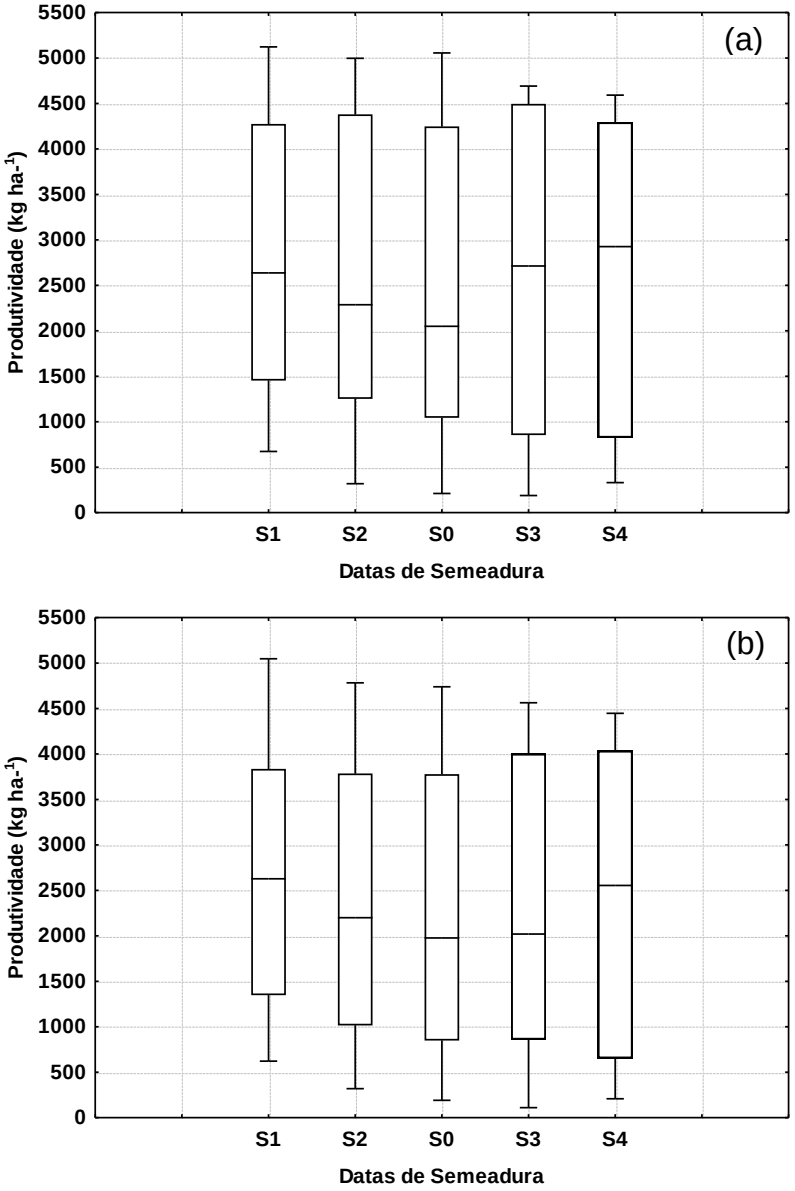

Figura 29 – Produtividade atingível da soja projetada para as semeaduras antecipadas e tardias para Cruz Alta, RS, em que: a) Cenário PRECIS A2 no período D25; e b) Cenário PRECIS A2 no período D55

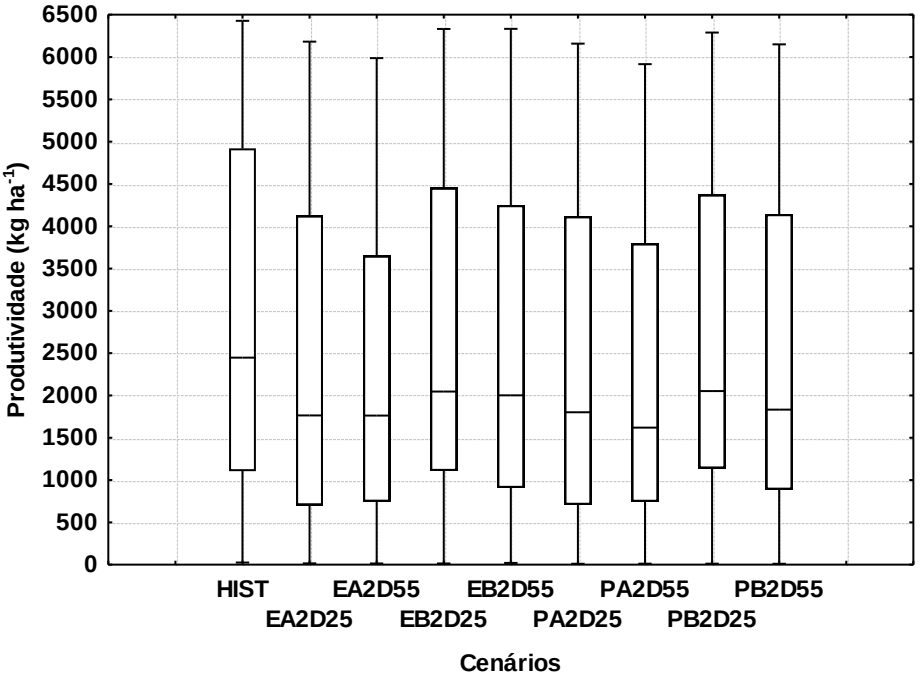

Figura 30 – Produtividade atingível da cultura da soja e sua variabilidade para o cenário atual e para cada um dos cenários futuros, em Santa Maria, RS

A Figura 32 apresenta o gráfico tipo *Boxplot* com dados de produtividade atingível projetados para os cenários atual e futuros (A2 e B2), para os períodos D25 e D55, determinados pelos modelos ETA e PRECIS, para a localidade de Uruguaiana, RS. A Figura 33 apresenta as produtividades de grãos para as semeaduras alternativas testadas, sendo duas adiantadas (S1 e S2) e duas atrasadas (S3 e S4) em relação à época recomendada (S0 – de 20 de outubro a 10 de novembro) para a cultura da soja na região, considerando-se o cenário mais penalizado pelos impactos do aquecimento global, para os períodos D25 (2013-2043) e D55 (2041-2071).

Como observado na Figura 33, as maiores produtividades foram simuladas nas semeaduras mais tardias, havendo, no entanto, aumento das produtividades também nas semeaduras precoces, como no decêndio S2 para no período D25. A semeadura mais tardia, no entanto, foi a que promoveu as maiores produtividades de grãos de soja em relação às demais épocas semeadura em ambos os períodos (D25 e D55).

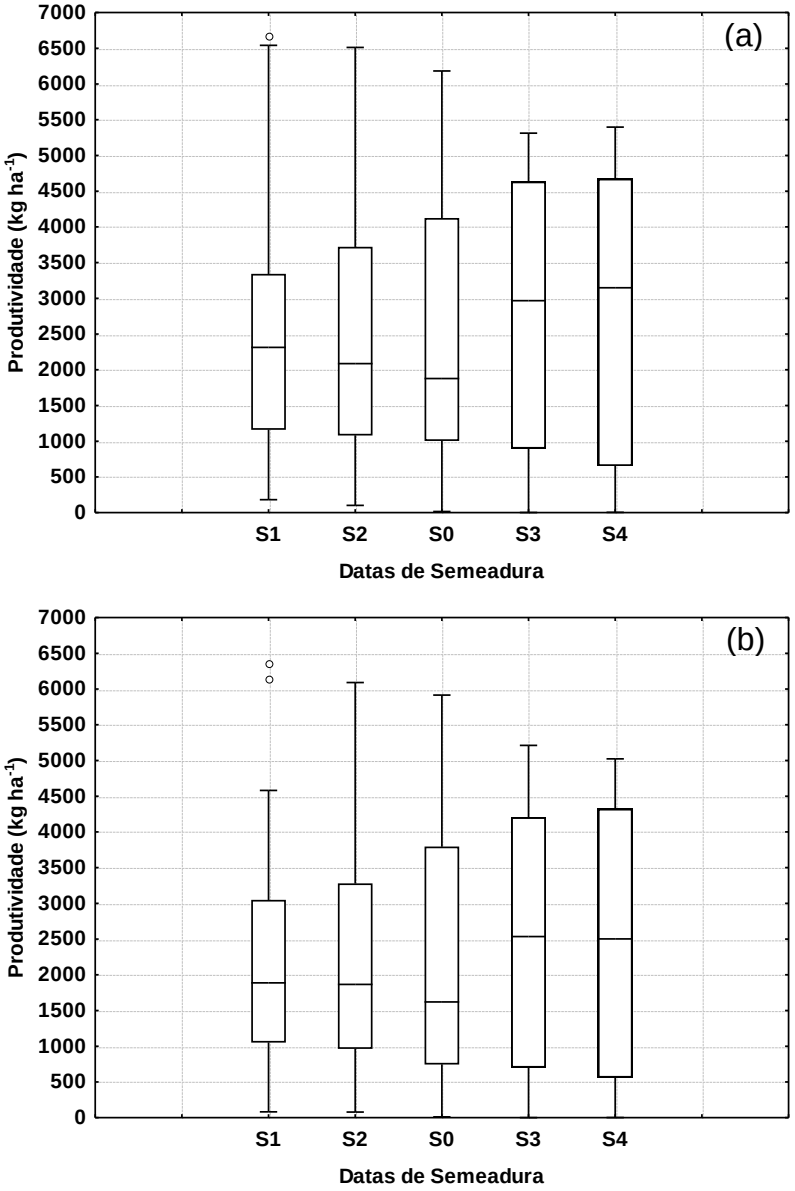

Figura 31 – Produtividade atingível da soja projetada para as semeaduras antecipadas e tardias para Santa Maria, RS, em que: a) Cenário ETA A2 no período D25; e b) Cenário PRECIS A2 no período D55

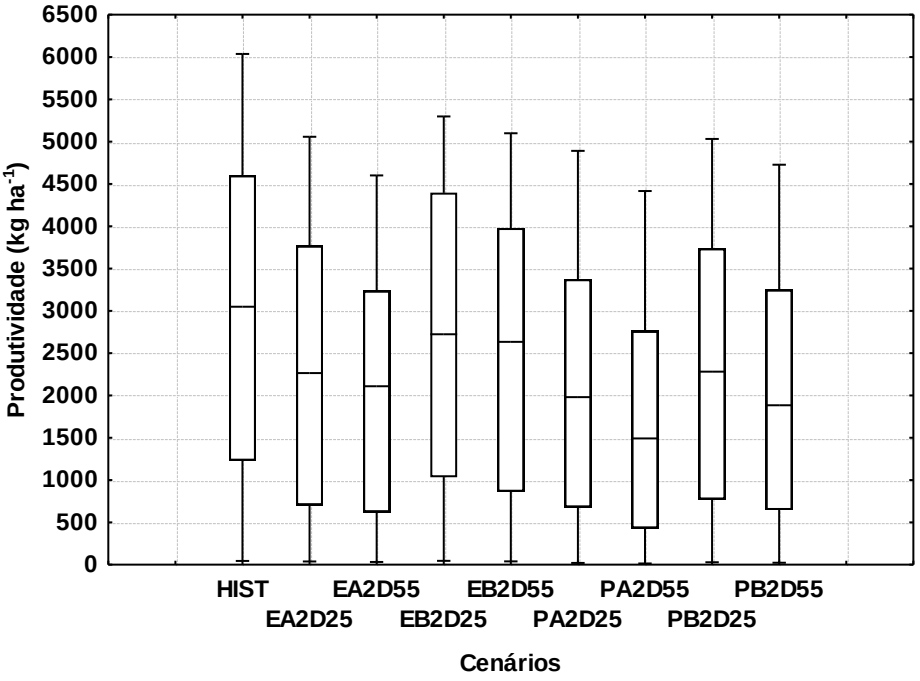

Figura 32 – Produtividade atingível da cultura da soja e sua variabilidade para o cenário atual e para cada um dos cenários futuros, em Uruguaiana, RS

A Figura 34 apresenta o gráfico tipo *Boxplot* com dados de produtividade atingível projetados para os cenários atual e futuros (A2 e B2), para os períodos D25 e D55, determinados pelos modelos ETA e PRECIS, para a localidade de Bagé, RS. A Figura 35 apresenta as produtividades de grãos de soja para as semeaduras alternativas testadas, sendo essas realizadas em dois decêndios antecipados (S1 e S2) e em dois tardios (S3 e S4) em relação à época recomendada (S0 – de 20 de outubro a 10 de novembro) para a cultura da soja nessa região, no cenário mais penalizado pelos impactos do aquecimento global, para os períodos D25 (2013-2043) e D55 (2041-2071).

Pelos resultados apresentados pela análise de sensibilidade (Figura 35), verifica-se que as semeaduras antecipadas resultam em menores variabilidades interanuais da produtividade da soja, porém as maiores produtividades ocorrem nas semeaduras tardias na região de Bagé, sendo a realizada na data S4 a que promoveu as melhores projeções de produtividade de grãos de soja em relação às demais épocas de semeadura avaliadas, em ambos os períodos (D25 e D55).

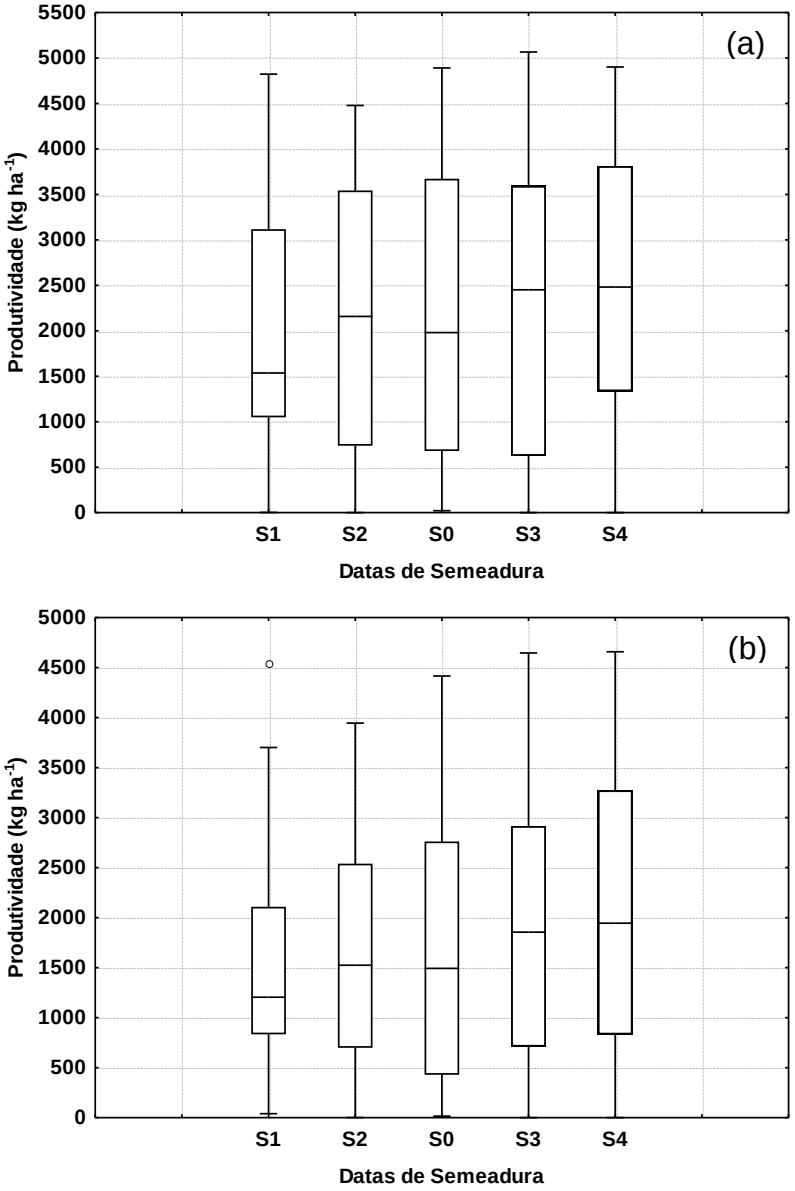

Figura 33 – Produtividade atingível da soja projetada para as semeaduras antecipadas e tardias para Uruguaiana, RS, em que: a) Cenário PRECIS A2 no período D25; e b) Cenário PRECIS A2 no período D55

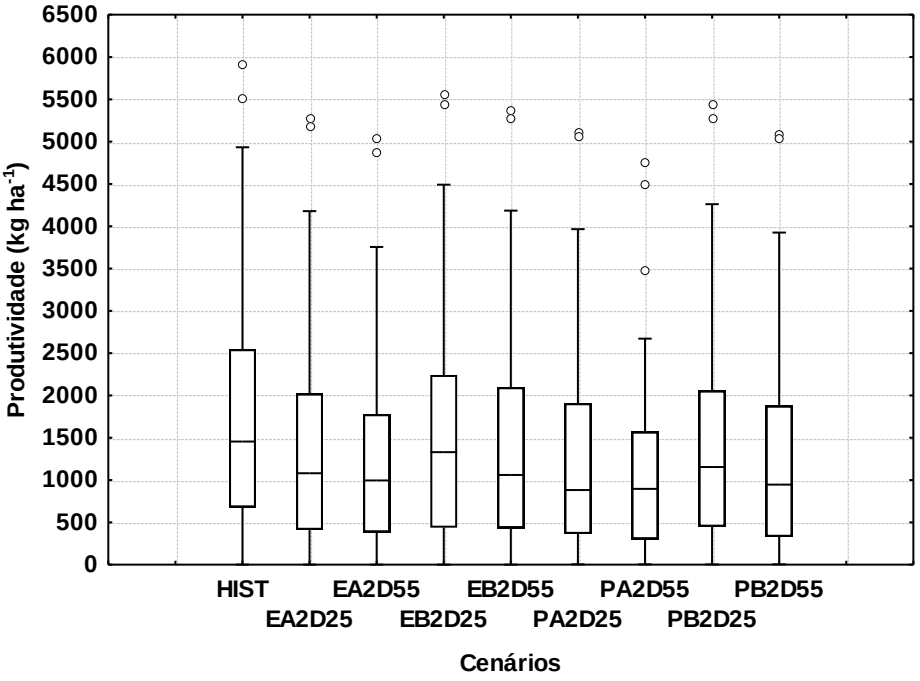

Figura 34 – Produtividade atingível da cultura da soja e sua variabilidade para o cenário atual e para cada um dos cenários futuros, em Bagé, RS

A Figura 36 apresenta o gráfico tipo *Boxplot* com dados de produtividade atingível projetados para os cenários atual e futuros (A2 e B2), para os períodos D25 e D55, determinados pelos modelos ETA e PRECIS, para a localidade de Pelotas, RS. A Figura 37 apresenta as produtividades de grãos para as semeaduras alternativas testadas, sendo duas em decêndios antecipados (S1 e S2) e mais duas em decêndios tardios (S3 e S4) em relação à época recomendada (S0 – de 20 de outubro a 10 de novembro) para a cultura da soja nessa região, no cenário mais penalizado pelos impactos do aquecimento climáticas, para os períodos D25 (2013-2043) e D55 (2041-2071).

De acordo com os resultados apresentados na análise de sensibilidade (Figura 37), verifica-se que se atrasando a semeadura, ou seja, semeando um pouco mais tarde, há uma perspectiva de obtenção de maiores rendimentos de grãos de soja na localidade de Pelotas. Nos períodos D25 e D55, a semeadura tardia, no decêndio S4, foi a que demonstrou ser a de melhor recomendação, por apresentar as maiores médias de produtividade de grãos em relação aos demais períodos avaliados.

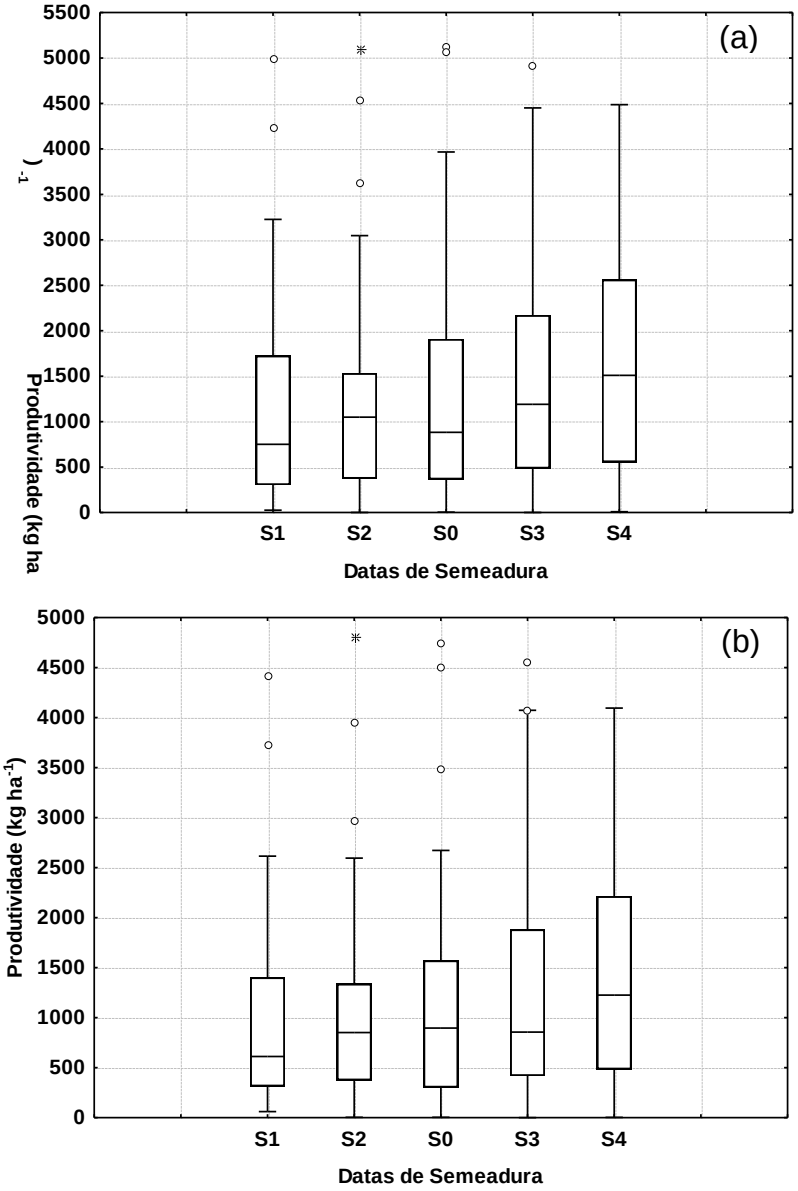

Figura 35 – Produtividade atingível da soja projetada para as semeaduras antecipadas e tardias para Bagé, RS, em que: a) Cenário PRECIS A2 no período D25; e b) Cenário PRECIS A2 no período D55

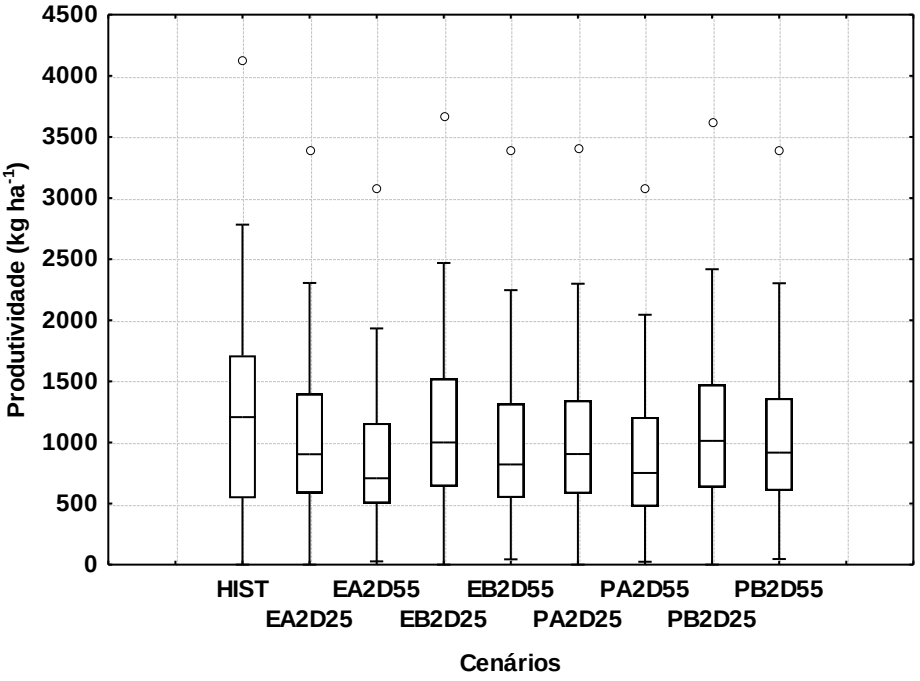

Figura 36 – Produtividade atingível da cultura da soja e sua variabilidade para o cenário atual e para cada um dos cenários futuros, em Pelotas, RS

Na Tabela 27 é apresentada uma síntese das análises de sensibilidade realizadas, com relação à antecipação ou ao retardamento das semeaduras como estratégia de mitigação dos impactos do aquecimento global na produtividade da cultura da soja. Com exceção de Castro, PR, nos dois períodos simulados, e para Cruz Alta, RS, no período D55, para todas as demais localidades a época de semeadura tardia foi a que se mostrou mais viável para amenizar os efeitos do aquecimento global sobre a produtividade da cultura da soja. Assim, atrasar a semeadura da cultura da soja em um ou dois decêndios em relação ao período atualmente recomendado (de 20 de outubro até 10 de novembro), juntamente com outras práticas, poderá reduzir os impactos projetados do aquecimento global. Em Castro, PR, não houve indicação de que haja necessidade de se alterar a época de semeadura da soja, enquanto que para Cruz Alta, RS, no período D55, a antecipação da semeadura parece ser a alternativa mais viável. Esses resultados concordam em parte com o que já vem sendo observado por Dallacort et al. (2006) e Battisti et al. (2013), que de certa forma já observaram que mais recentemente as semeaduras tardias da soja vem resultando em melhores produtividades.

Apesar dessa tendência observada na Tabela 27, para as localidades de Chapecó, SC, Passo Fundo, RS, e Santa Maria, RS, as semeaduras antecipadas

também se mostraram com potencial de mitigação dos impactos do aquecimento global, resultando em ganhos médios de produtividade da cultura da soja.

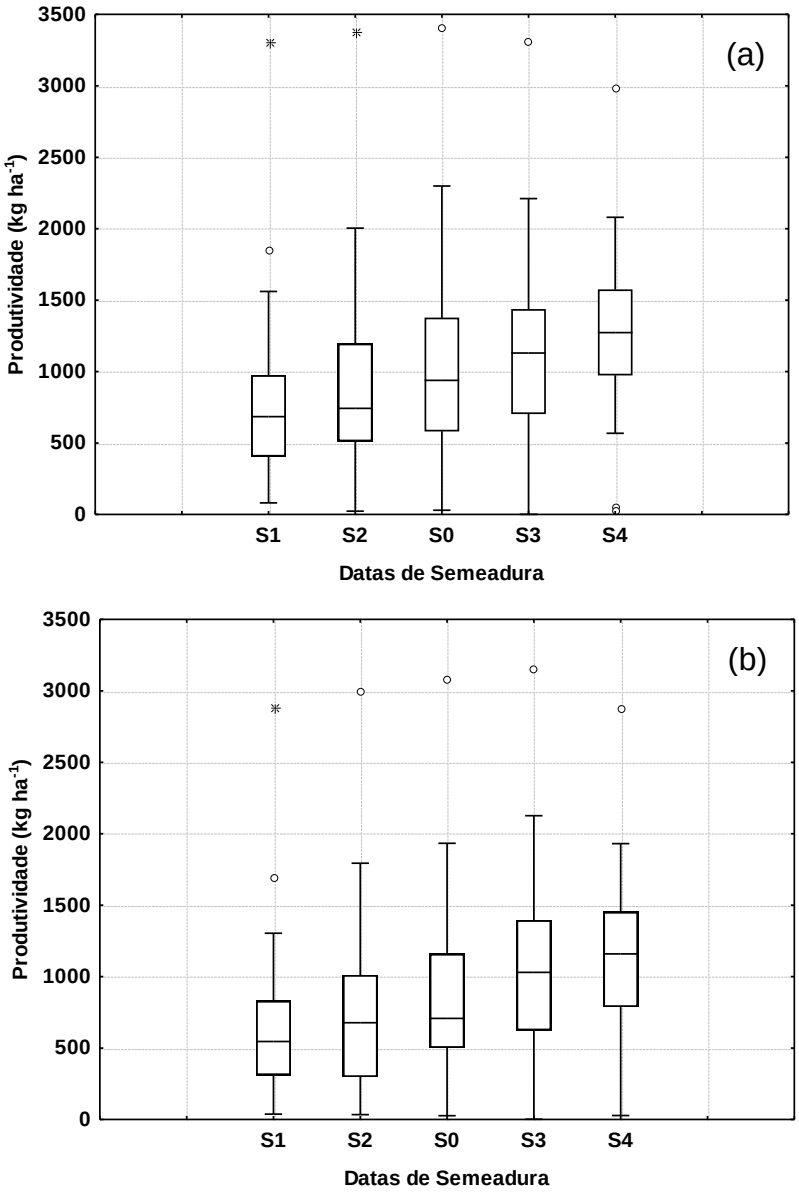

Figura 37 – Produtividade atingível da soja projetada para as semeaduras antecipadas e tardias para Pelotas, RS, em que: a) Cenário PRECIS A2 no período D25; e b) Cenário ETA A2 no período D55

Tabela 27 – Semeadura de soja recomendada para cada localidade estudada nos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, nos cenários de aquecimento global D25 e D55, em que: S0 = época de semeadura atualmente recomendada; S1 = antecipação da semeadura em dois decêndios; S3 = atraso da semeadura em um decêndio; S4 = atraso da semeadura em dois decêndios

		Semeadura	
Estado	Localidade	D25	D55
PR	Londrina	S3	S3
	Campo Mourão	S4	S4
	Palotina	S3	S4
	Castro	S0	S0
	Cascavel	S3	S3
SC	Chapecó	S4	S4
	Campos Novos	S4	S4
RS	Passo Fundo	S4	S4
	Cruz Alta	S4	S1
	Santa Maria	S4	S4
	Uruguaiana	S4	S4
	Bagé	S4	S4
	Pelotas	S4	S4

Os incrementos de produtividade associados ao retardamento da semeadura da soja nos cenários climáticos futuros se deve basicamente ao fato de que nessas condições a cultura tem sua fase fenológica crítica (florescimento e enchimento de grãos) coincidindo com períodos de maior disponibilidade hídrica, já que como o aumento das temperaturas o ciclo da soja tende a se antecipar. Assim, ao se atrasar a semeadura, sendo o ciclo mais curto, a fase crítica volta a coincidir com os meses de mais chuva.

5 CONCLUSÕES

Através dos resultados obtidos neste trabalho, foi possível concluir que:

a) O modelo CSM-CropGro-Soybean simulou eficientemente os efeitos dos diferentes tipos de solo, cultivares de soja, produtividade potencial e atingível, para as séries climáticas atuais e futuras, sendo possível caracterizar as perdas de produtividades de grãos de soja e os riscos climáticos inerentes à cultura em treze regiões produtoras do Sul do Brasil;

b) No cenário atual as localidades de Campo Mourão e Cascavel, no estado do Paraná, são as de menor risco climático para a cultura da soja, enquanto que as localidades de Bagé e Pelotas, no estado do Rio Grande do Sul, são as que apresentaram o maior risco climático;

c) As menores perdas de produtividade da soja para os cenários futuros ocorreram nas localidades de Castro, PR, e Santa Maria, RS, e as maiores nas localidades de Palotina, PR, e Uruguaiana, RS;

d) Ao atrasar ou antecipar a semeadura da cultura da soja em relação à época atualmente recomendada, observou-se diferenças nas produtividades médias e nas suas variabilidades interanuais, o que possibilita considerar tal estratégia de manejo como uma possível ação para minimização dos impactos do aquecimento global na produtividade da cultura da soja na região sul do Brasil;

e) De maneira geral, os resultados obtidos no presente estudo mostraram que o uso do modelo CSM-CropGro-Soybean pode auxiliar a definição da melhor estratégia para minimização dos impactos do aquecimento global, por meio da alteração das épocas de semeaduras, normalmente atrasando-as.

REFERÊNCIAS

ADAMS, D.B.; ADAMS, W.W.N. Photoprotection and other responses of plants to high light stress. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 43, p. 599-626, 1992.

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

AMANAJÁS, J.C. **Uso do método de contingência para análise da eficácia de previsão da precipitação pluviométrica do Modelo ETA para o município de Macapá-AP em 2007**. 2008. 76 p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Licenciatura Plena em Matemática) – Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2008.

ALMAZROUI, M. Sensitivity of a regional climate model on the simulation of high intensity rainfall events over the Arabian Peninsula and around Jeddah (Saudi Arabia), Hamburg, **Theoretical and Applied Climatology**, Krakow, v. 104, p. 261-276, 2011.

ALMAZROUI, M. Simulation of present and future climate of Saudi Arabia using a regional climate model (PRECIS). I**nternational Journal of Climatology**, Hoboken, v. 33, p. 2247-2259, 2013.

ALVES, L.M. **Simulações da variabilidade do clima presente sobre a América do Sul utilizando um modelo climático regional**. 2007. 98 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2007.

ALVES, L.M.; CHOU, S.C.; MARENGO, J.A. Avaliação das previsões de chuvas sazonais do modelo ETA climático sobre o Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13., 2004, Fortaleza. **Anais eletrônicos...** Fortaleza: SBMET, 2004. Disponível em: < http://www.cbmet.com/index.php>. Acesso em: 10 ago. 2013.

ASSAD, E.D.; LUCHIARI JR., A. Future scenario and agricultural strategies against climatic changes: the case of tropical savannas. In: REUNIÃO SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E ESTRATÉGIAS FUTURAS, 1989, São Paulo. **Anais...** São Paulo: USP, 1989. p. 30-31.

ASSAD, E.D.; PELLEGRINO, G.Q.; PINTO, H.S. Mudanças climáticas e o semiárido brasileiro. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL: CLIMA, SUSTENTABILIDADE E DESENVOLVIMENTO EM REGIÕES SEMIÁRIDAS, 2., 2010, Fortaleza. **Anais eletrônicos...** Fortaleza, 2010. Disponível em: <http://www.icid18.org/index.php>. Acesso em: 10 ago. 2013.

ASSAD, E.D.; MARTINS, S.C.; BELTRÃO, N.E.M.; PINTO, H.S.P. Impacts of climate change on the agricultural zoning of climate risk for cotton cultivation in Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n. 1, p. 1-8, 2013.

ASSAD, E.D.; PINTO, H.S.; ZULLO JR., J.; ÁVILA, A.M.H. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 11, p. 1057-1064, 2004.

ASSAD, E.D.; PINTO, H.S.; ZULLO JR., J.; MARIN, F.R. Mudanças climáticas e agricultura: uma abordagem agroclimatológica. **Ciência & Ambiente,** Santa Maria, v. 34, p. 169-182, 2007.

BALL, R.A.; PURCELL, L.C.; CAREY, E.K. Evaluation of solar radiation prediction models in North America. **Agronomy Journal**, Madison, v. 96, p. 391-397, 2004.

BARRY, R.G.; CHORLEY, R.J. **Atmosfera, tempo e clima**. 9. ed. Porto Alegre: Bookman. 512 p.

BATTISTI, R. **Épocas de semeadura da cultura da soja com base no risco climático e na rentabilidade líquida para as principais regiões produtoras de Brasil**. 2013. 262 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz De Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

BLACK, T.L. The new NMC mesoescale Eta model: description and forecast examples. **Weather and Forecasting**, Washington, v. 9, p. 265-278, 1994.

BLACK, R.J. Complexo soja: fundamentos, situação atual e perspectiva. In: CÂMARA, G.M.S. (Ed.). **Soja:** tecnologia de produção II. Piracicaba: ESALQ, 2000. p. 1-18.

BONETTI, L.P. Distribuição da soja no mundo: origem, história e distribuição. In: MIYASAKA, S.; MEDINA, J.C. (Ed.). **A soja no Brasil**. Campinas: ITAL, 1981. p. 1-6.

BOOTE, K.J.; JONES, J.W.; HOOGENBOOM, G. Simulation of crop growth: CROPGRO model. In: PEART, R.M.; CURRY, R.B. **Agricultural systems modeling and simulation**. New York: Marcel Dekker, 1998. v. 18, p. 651-692.

BORTHWICK, H.A.; HENDRICS, S.B.; PARKER, M.V. The reaction controlling floral initiation. **Proceedings of National Academy of Sciences of the USA**, Washington, v. 38, n. 11, p. 929-934, 1952.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Soja**. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/soja>. Acesso em: 10 jul. 2013.

BREVILIERI, R.C. **Adubação fosfatada na cultura da soja em latossolo vermelho cultivado há 16 anos sob diferentes sistemas de manejo**. 2012. 52 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Maracajú, 2012.

BRISTOW, K.L.; CAMPBELL, G.S. On the relationship between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature. **Agricultural and Forest Meteorology**, Birmensdorf, v. 31, p. 159-166, 1984.

CAMARGO, M.B.P.; BRUNINI, O.; MIRANDA, M.A.C. Temperatura-base para cálculo dos graus-dia para cultivares de soja em São Paulo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 2, p. 115-121, 1987.

CAMPOS, I. Limites e condicionantes à expansão da sojicultura na Amazônia. **Novos Cadernos NAEA**, Belém, v. 15, n. 2, p. 197-216, 2012.

CASAROLI, D.; FAGAN, E.B.; SIMON, J.; MEDEIROS, E.P.; MANFRON, P.A.; DOURADO NETO, D.; LIER, Q.J.V.; MULLER, L. MARTIN, T.N. Radiação solar e aspectos fisiológicos na cultura de soja: uma revisão. **Revista da FZVA**, Uruguaiana, v. 14, n. 2, p. 102-120, 2007.

CHOU, S.C.; BUSTAMANTE, J.F.; GOMES, J.L. Previsões sazonais utilizando o modelo ETA sobre a América do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12., 2004, Fortaleza. **Anais eletrônicos...** Fortaleza: SBMET, 2004. Disponível em: < http://www.cbmet.com/index.php>. Acesso em: 10 ago. 2013.

CHOU, S.C.; MARENGO, J.A.; LYRA, A.A.; SUEIRO, G.; PESQUERO, J.F.; ALVES, L.M.; KAY, G.; BETTS, R.; CHAGAS, D.J.; GOMES, J.L.; BUSTAMANTE, J.F.; TAVARES, P. Downscaling of South America present climate driven by 4-member HadCM3 runs. **Climate Dynamics**, Heidelberg, v. 38, p. 635-653, 2011.

CHUNG, G.; SINGH, R.J. Broadening the genetic base of soybean: a multidisciplinary approach. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Boca Raton, v. 27, n. 5, p. 295-341, 2008.

CLIMATIC RESEARCH UNIT UNIVERSIT OF EAST ANGLIA. **Information sheets**. Disponível em: <http://www.cru.uea.ac.uk/information-sheets>. Acesso em: 10 ago. 2012.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Central de Informações Agropecuárias. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/>. Acesso em: 10 jul. 2013.

CONCEICAO, M.; MARIN, F. Avaliação de modelos para estimativa de valores diários da radiação solar global com base na temperatura do ar. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 15, p. 103-108, 2007.

COSTA, M.S.; BARROS, J.D.; SILVEIRA, A.M.; COSTA JÚNIOR, N.P.; COSTA, A.M.B.; SILVA, F.M. Monitoramento atmosférico em condições de alagamento na cidade de Natal/RN baseado no modelo ETA/CPTEC/INPE. **Sociedade e Território**, Natal, v. 25, n. 2, p. 93-103, 2013.

COSTA NETO, P.R.; ROSSI, L.F.S. Produção de biocombustível alternativo ao óleo diesel através da transesterificação de óleo de soja usado em fritura. **Química Nova**, São Paulo, v. 23, p. 4, 2000.

CUNHA, G.R.; BARNI, N.A.; HAAS, J.C.; MALUF, J.R.C.; MATZENAUER, R.; PASINATO, A.; PIMENTEL, M.B.; PIRES, J.L.F. Zoneamento agrícola e época de semeadura para soja no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, n. 3, p. 446-459, 2001.

DALLACORT, R.; FREITAS, P.S.L.; FARIA, R.T.; GONÇALVES, A.C.A.; REZENDE, R.; BERTONHA, A. Utilização do modelo Cropgro-soybean na determinação de melhores épocas de semeadura da cultura da soja, na região de Palotina, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 28, n. 4, p. 583-589, 2006.

DALLACORT, R.; FREITAS, P.S.L.; FARIA, R.T.; GONÇALVES, A.C.A.; REZENDE, R.; BERTONHA, A.; HELBEL JR., C. Ajuste e teste dos coeficientes genéticos do modelo de simulação Cropgro-soybean, para a região Noroeste do Estado do Paraná. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 27, n. 2, p. 363-371, 2005.

DELIGIOS, P.A.; FARCI R, S.L.; HOOGENBOOM, G.; LEDDA, L. Predicting growth and yield of winter rapeseed in a Mediterranean environment: model adaptation at a field scale. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 144, p. 100-112, 2013.

DZOTSI, K.A.; JONES, J.W.; ADIKU, S.G.K.; NAAB, J.B.; SINGH, U.; PORTER, C.H.; GIJSMAN, A.J. Modeling soil and plant phosphorus within DSSAT. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 221, p. 2839-2849, 2010.

EGLI, D.B.; BRUENING, W. Planting date and soybean yield: evaluation of environmental effects with a crop simulation model: Soygro. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 62, p. 19-29, 1992.

EMBRAPA. **Tecnologia de produção de soja:** região central do Brasil. Brasília, 2011. 263 p. (Sistema de Produção, 15).

_____. **Tecnologia de produção de soja:** região central do Brasil. Brasília, 2013. 266 p. (Sistema de Produção, 16).

_____. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 2009. 412 p.

FARIAS, J.R.B. Déficit hídrico em culturas. In: ENCONTRO DE PLANTIO DIRETO NO CERRADO, 8., 2005, Tangará da Serra. **Anais...** Tangará da Serra: SANCHES, 2005. p. 146-151.

FARIAS, J.R.B.; NEPOMUCENO, A.L.; NEUMAIER, N. **Ecofisiologia da soja**. Londrina: EMBRAPA, 2007. 9 p. (Circular Técnica, 48).

FARIAS, J.R.B.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A.L. Soja. In: MONTEIRO, J.E.B.A. **Agrometeorologia dos cultivos:** o fator meteorológico na produção agrícola. Brasília: INMET, 2009. p. 261-278.

FEHR, W.R.; CAVINESS, C.E. **Stages of soybean development.** Ames: Iowa State University, Dep. of Science and Technology, 1977. 11 p.

FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FREITAS, M.C.M. A cultura da soja no Brasil: o crescimento da produção brasileira e o surgimento de uma nova fronteira agrícola. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 7, n. 12, p. 1-12, 2011.

GARNER, W.W.; ALLARD, H.A. Effect of relative length of day and night and other factors of the environment on growth and reproduction in plants. **Journal of Agricultural Research**, Washington, v. 18, n. 11, p. 553-606, 1920.

GOMES, C.G. **Determinantes das vendas de fertilizantes para a soja no Brasil de 1988 a 2012.** 2014. 56 p. Dissertação (Mestrado em Economia e Gestão do Agronegócio) – Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, 2014.

GOUVÊA, J.R.F. **Mudanças climáticas e a expectativa de seus impactos na cultura da cana-de-açúcar na região de Piracicaba, SP**. 2008. 100 p. Dissertação (Mestrado em Física do Ambiente Agrícola) – Escola Superior de Agricultura “Luiz De Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

HARGREAVES, G.H.; SAMANI, Z.A. Estimating potential evapotranspiration. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 108, p. 225-230, 1982.

HE, J.Q.; DUKES, M.D.; HOCHMUTH, G.J.; JONES, J.W.; GRAHAM, W.D. Identifying irrigation and nitrogen best management practices for sweet corn production on sandy soils using CERES-Maize model. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 109, p. 61-70, 2012.

HOOGENBOOM, G.; JONES, J.W.; BOOTE, K.J. Modeling growth, development, and yield of grain legumes using soygro, pnutgro, and beangro: a review. **Transactions of the ASAB**, St Joseph, v. 35, n. 6, p. 2043-2055, 1992.

HOOGENBOOM, G.; JONES, J.W; PORTER, C.H.; WILKENS, P.W.; BOOTE, K.J.; BATCHELOR, W.D.; HUNT, L.A.; TSUJI, G.Y. **Decision support system for agrotechnology transfer:** version 4.0. Honolulu: University of Hawaii, 2003. v. 1: Overview, 365 p.

HOOGENBOOM, G.; JONES, J.W.; WILKENS, P.W.; PORTER, C.H.; BOOTE, K.J.; HUNT, L.A.; SINGH, U.; LIZASO, J.L.; WHITE, J.W.; URYASEV, O.; ROYCE, F.S.; OGOSHI, R.; GIJSMAN, A.J.; TSUJI, G.Y.; KOO, J. **Decision support system for agrotechnology transfer (DSSAT):** version 4.5. Honolulu: University of Hawaii, 2012. 1 CD-ROM.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Agrometeorologia:** serviços à comunidade. Disponível em: < http://www.iapar.br/>. Acesso em: 10 mar. 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento de recursos naturais:** suplementos Projeto RADAMBRASIL. Disponível em: <http://biblioteca.ibge.gov.br/>. Acesso em: 10 jul. 2013.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa.** Disponível em: <www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/>. Acesso em: 10 mar. 2012.

INTERNATIONAL BENCHMARK SITES NETWORK FOR AGROTECHNOLOGY **Transfer documentation for IBSNAT crop models input & output files version 1.1:** for the decision support system for agrotechnology transfer (Dssaat v.2.1). Honolulu: University of Hawaii, 1989. 59 p. (IBSNAT Project).

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Impacts, adaptation and vulnerability. In: MCCARTHY, J.J.; CANZIANI, O.F.; LEARY, N.A.; DOKKEN, D.J.; WHITE, K.S. (Ed.). **Climate change 2001:** contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2001. p. 77-103.

_____. Synthesis report. In: TEAM, C.W.; PACHAURI, R.K.; REISINGER, A. (Ed.). **Climate change 2007:** contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2007a. p. 30-54.

_____. The physical science basis. In: SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M.; CHEN, Z.; MARQUIS, M.; AVERYT, K.B.; TIGNOR, M.; MILLER, H.L. (Ed.). **Climate change 2007:** contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2007b. p. 237-336.

_____. Impacts, adaptation and vulnerability. In: PARRY, M.L.; CANZIANI, O.F.; PALUTIKOF, J.P.; VAN DER LINDEN, P.J.; HANSON, C.E. (Ed.). **Climate change 2007:** contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2007c. p. 581-615.

_____. The physical science basis. In: STOCKER, T.F.; QIN, D.; PLATTNER, G.K.; TIGNOR, M.; ALLEN, S.K.; BOSCHUNG, J.; NAUELS, A.; XIA, Y,; BEX, V.; MIDGLEY, P.M. (Ed.). **Climate change 2013:** contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2013. p. 3-6.

JANJIC, Z. Nonlinear advection schemes and energy cascade on semi-staggered grids. **Monthly Weather Review**, Washington, v. 112, p. 1234-1245, 1984.

_____. The step-mountain coordinate: physical package. **Monthly Weather Review**, Washington, v. 118, p. 1429-1443, 1990.

JIANG, A.C.D.; GAO, H.Y.; ZOU, Q.; JIANG, G.M.; LI, L.H. Leaf orientation, photorespiration and xanthophyll cycle protect young soybean leaves against high irradiance in field. **Environmental and Experimental Botany**, Amsterdam, v. 55, p. 87-96, 2006.

JONES, J.W.; HOOGENBOOM, G.; PORTER, C.H.; BOOTE, K.L.; BATCHELOR, W.D.; HUNT, L.A.; WILKENS, P.W.; SINGH, U.; GIJSMAN, A. J.; RITCHIE, J.T. The DSSAT cropping system model. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 18, n. 3, p. 235-265, 2003.

JONES, R.G.; NOGUER, M.; HASSELL, D.C.; HUDSON, D.; WILSON, S.S.; JENKINS, G.J.; MITCHELL, J.F.B. **Generating high resolution climate change scenarios using PRECIS.** Exeter: Met Office Hadley Centre, 2004. 34 p.

JUSTINO, F.; OLIVEIRA, E.C.; RODRIGUES, R.A.; GONÇALVES, P.H.L.; SOUZA, P.J.O.P.; STORDAL, F.; MARENGO, J.; SILVA, T.G.; DELGADO, R.C.; LINDEMANN, D.S.; COSTA, L.C. Mean and interannual variability of maize and soybean in Brazil under global warming conditions. **American Journal of Climate Change**, Irvine, v. 2, p. 237-253, 2013.

KASTER, M.; FARIAS, J.R.B. **Regionalização dos testes de valor de cultivo e uso e da indicação de cultivares de soja:** terceira aproximação. Londrina, EMBRAPA, 2012. 70 p. (Documentos, 330).

KARMALKAR, A.V.; BRADLEY, R.S.; DIAZ, H.F. Climate change in Central America and Mexico: regional climate model validation and climate change projections. **Climate Dynamics**, Heidelberg, v. 37, p. 605-629, 2011.

KIIHL, R.A.S.; GARCIA, A. The use of the long-juvenile trail in breeding soybean cultivars. In: WORLD SOYBEAN RESERACH CONFERENCE, 4., 1989, Buenos Aires. **Proceedings...** Buenos Aires: Soycon, 1989. v. 4, p. 994-1000,

KUMAR, K.K.; PATWARDHAN, S.K.; KULKARNI, K.; KAMALA, K.; RAO, K.K.; JONES, R. Simulated projections for summer monsoon climate over India by a high-resolution regional climate model (PRECIS). **Current Science**, Bangalore, v. 101, n. 3, 2011.

KULKARNI, A.; PATWARDHAN, S.; KUMAR, K.K.; ASHOK, K.; KRISHNAN, R. Projected climate change in the Hindu Kush–Himalayan region by using the high-resolution regional climate model PRECIS. **Mountain Research and Development**, Washington, v. 33, n. 2, p. 142-151, 2013.

LAZINSKI, L.R. **Viabilidade de utilização do modelo Soygro para a região de Londrina–PR**. 1993. 98 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz De Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1993.

LIU, H.L.; YANG, J.Y.; TAN, C.S.; DRURY, C.F.; REYNOLDS, W.D.; ZHANG, T.Q.; BAI, Y.L.; JIN, J.; HE, P.; HOOGENBOOM G. Simulating water content, crop yield and nitrate-N loss under free and controlled tile drainage with subsurface irrigation using the DSSAT model. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 98, p. 1105-1111, 2011.

LIU, X.; HERBERT, S.J.; BAATH K.; HASHEMI, A.M. Soybean (Glycine max) seed growth characteristics in response to light enrichment and shading. **Plant, Soil and Environment**, Praha, v. 52, n. 4, p. 178-185, 2006.

MARENGO, J.A. **Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2007. 201 p.

MARENGO, J.A.; JONES, R.; ALVESA, B.L.M.; VALVERDEA, M.C. Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. **International Journal of Climatology**, Reading, v. 29, p. 2241-2255, 2009a.

MARENGO, J.A.; AMBRIZZI, T.; ROCHA, R.P.; ALVES, L.M.; CUADRA, S.V.; VALVERDE, M.C.; TORRES, R.R.; SANTOS, D.C.; FERRAZ, S.E.T. Future change of climate in South America in the late twenty-first century intercomparison of scenarios from three regional climate models. **Climate Dynamics**, Heidelberg, v. 35, n. 6, p. 1073-1097, 2009b.

MARENGO, J.A.; NOBRE, C.A.; CHOU, S.C.; TOMASELLA, J.; SAMPAIO, G.; ALVES, L.M.; OBREGON, G.O.; SOARES, W.R.; BETTS, R.; KAY, G. **Riscos das mudanças climáticas no Brasil**. Brasília: INPE, 2011. 56 p.

MARIN, F.R.; JONES, J.W.; SINGELS, A.; ROYCE, F.; ASSAD, E.D.; PELLEGRINO, G.Q.; JUSTINO, F. Climate change impacts on sugarcane attainable yield in southern Brazil. **Climatic Change**, Dordrecht, v. 117, p. 227-239, 2012.

MARQUES, M.C. **Adaptabilidade, estabilidade e diversidade genética de cultivares de soja em três épocas de semeadura, em Uberlândia – MG**. 2010. 97 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

MARTORANO, L.G.; FARIA, R.T.; BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G.A. Evaluation of the CROPGRO/DSSAT model performance for simulating plant growth and grain yield of soybeans, subjected to no-tillage and conventional systems in the subtropical southern Brazil. **Italian Journal of Agronomy**, Rome, v. 3, n. 3, p. 795-796, 2008.

MATHEW, J.P.; HERBERT, S.J.; ZHANG, S.; RAUTENKRANZ, A.A.F.; LITCHFIELD, G.V. Differential response of soybean yield components to the timing of light enrichment. **Agronomy Journal**, Madison, v. 92, p. 1156-1161, 2000.

MELGES, H.; LOPES, N.F.; OLIVA, M.A. Crescimento e conversão da energia solar em soja cultivada sob quatro níveis de radiação solar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 24, n. 9, p. 1065-1072, 1989.

MESINGER, F.; JANJIC, Z. Noise due to time-dependent boundary conditions in limited area models. **The GARP Programme on Numerical Experimentation**, Geneva, n. 4, p. 31-32, 1974.

MESINGER, F.; LOBOCKI, L. Sensitivity to the parameterization of surface fluxes in NMC's eta model. In: CONFERENCE ON NUMERICAL WEATHER PREDICTION, 9., 1991, Denver. **Proceedings…** Washington: American Meteorological Society, 1991. p. 213-216.

MONTEIRO, J.M.G. **Plantio de oleaginosas por agricultores familiares do semi-árido nordestino para produção de biodiesel como uma estratégia de mitigação e adaptação às mudanças climáticas**. 2007. 315 p. Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A.L.; FARIAS, J.R.B.; OYA, T. Estádios de desenvolvimento da cultura de soja. In: BONATTO, E.R. **Estresses em soja.** Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000. cap. 1, p. 19-44.

NOBRE, C.A.; ASSAD, E.D.; OYAMA, M.D. O impacto do aquecimento global nos ecossistemas brasileiros e na agricultura. **Scientific American Brasil**, São Paulo, v. 12, p. 70-75, 2005.

NOGUEIRA, A.D.S.S.; NAGAI, V. Deficiência hídrica simulada nos diferentes estádios de desenvolvimento de um cultivar precoce de soja. **Bragantia**, Campinas, v. 47, n. 1, p. 9-14, 1988.

OLIVEIRA, E.C.; NEVES, L.O.; AGUIAR, L.J.G.; FISCHER, G.R.; ROBERTI, D.R.; S. COSTA, G.S.; MORAES, O.L.L.; COSTA, J.M.N. Simulation of the water use efficiency for the culture of soybean using the cropgro model. **Revista Ciência e Natura**, Santa Maria, ed. esp., p. 103-105, 2013.

OLIVEIRA, R.A. **Modelagem da produtividade da cana de açúcar para as principais regiões produtoras de Minas Gerais**. 2010. 110 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

PAKNEJAD, F.; PAD, P.F.; ILKAEE, M.N.; FAZELI, F. Simulation of soybean growth under sowing date management by CROPGRO Model. **American Journal of Agricultural and Biological Sciences**, New York, v. 7, n. 2, p. 143-149, 2012.

PAKNEJAD, F.; ILKAEE, M.N.; AMIRI, B.; ZAVAREH, M.; ARDAKANI, M.R.; KASHANI, A.; MIRTAHERI, S.M. Use of CROPGRO-soybean to simulate biomass and grain yield of soybean (*Glycine max* L.) in different planting dates. **Journal of Biodiversity and Environmental Sciences**, Bangladeshi, v. 4, n. 2, p. 9-16, 2014.

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

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia:** fundamentos e aplicações práticas. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478 p.

PINTO, H.S.; ZULLO JR., J.; ASSAD, E.D.; EVANGELISTA, B.A. O aquecimento global e a cafeicultura brasileira. **Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia**, Macaé, v. 31, p. 65-72, 2007.

PINTO, H.S.; ASSAD, E.D.; ZULLO JR., J.; BRUNINI, O.; EVANGELISTA, B.A. Impacto do aumento da temperatura no zoneamento climático do café nos Estados de São Paulo e Goiás: avaliação dos cenários do IPCC. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 12., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: SBAgro, 2001. p. 605-606.

PINTO, H.S; ASSAD, E.D.; JUNIOR, J.Z.; EVANGELISTA, S.R.M.; OTAVIAN, A.F.; AVILA, A.M.H.; EVANGELISTA, B.A.; MARIN, F.R.; JUNIOR, C.M.; PELLEGRINO, G.Q.; COLTRI, P.P.; CORAL, G. **Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil**. Campinas: UNICAMP, CEPAGRI, 2008. 84 p.

PRIESTLEY, C.H.B.; TAYLOR, R.J. On the assessment of surface heart flux and evaporation using large-scale parameters. **Monthly Weather Review**, Boston, v. 100, p. 81-92, 1972.

RAMOS, A.M. **Influência das mudanças climáticas devido ao efeito estufa da drenagem urbana de uma grande cidade**. 2010. 179 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010.

RAO, K.K.; PATWARDHAN, S.K.; KULKARNI, A.; KAMALA, K.; SABADE, S.S.; KUMAR, K.K. Projected changes in mean and extreme precipitation indices over India using PRECIS. **Global and Planetary Change**, Amsterdam, v. 113, p. 77–90, 2013.

REICHERT, J.M.; ALBUQUERQUE, J.A.; KAISER, D.R.; REINERT, D.J.; URACH, F.L.; CARLESSO, R. Estimation of water retention and availability in soils of Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 1547-1560, 2009.

RICHARDSON, C.W.; WRIGHT, D.A. WGEN: **A model for generating daily weather variables**. Washington: USDA, Agricultural Research Service, 1984. 86 p. (ARS, 8).

RODRIGUES, O.; DIDONET, A.D.; LHAMBY, J.C.B.; BERTAGNOLLI, P.F.; LUZ, J.S. Resposta quantitativa do florescimento da soja à temperatura e ao fotoperíodo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 3, p. 431-437, 2001.

RODRIGUES, R.A.; PEDRINI, J.E.; FRAISSE, C.W.; FERNANDES, J.M.C.; JUSTINO, F.B.; HEINEMANN, A.B.; COSTA, L.C.; VALE, F.X.R. Utilization of the cropgro-soybean model to estimate yield loss caused by Asian rust in cultivars with different cycle. **Bragantia**, Campinas, v. 71, n. 2, p. 308-317, 2012.

ROLLA, A.A.P.; CARVALHO, J.F.C.; FUGANTI, R.P.; ENGELS, C.; RIO, A.; MARIN, S.R.R.; OLIVEIRA, M.C.N.; BENEVENTI, M.A.; MARCELINO-GUIMARÃES, F.C.; FARIAS, J.R.B.; NEUMAIER, N.; NAKASHIMA, K.; YAMAGUCHI-SHINOZAKI, K.; NEPOMUCENO, A.L. Phenotyping soybean plants transformed with rd29A:AtDREB1A for drought tolerance in the greenhouse and field. **Transgenic Research**, London, v. 1, p. 1-13, 2013.

RUIZ-VERA, U.M.; SIEBERS, M.; GRAY, S.B.; DRAG, D.W.; ROSENTHAL, D.M.; KIMBALL, B.A.; ORT, D.R.; BERNACCHI, C.J. Global warming can negate the expected CO_2 stimulation in photosynthesis and productivity for soybean grown in the Midwestern United States. **Plant Physiology**, Waterbury, v. 162, p. 410-423, 2013.

SANCHES, F.O.; VERDUM, R.; FISCH, R. Estudo de tendência de chuvas de longo prazo. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v. 8, n. 3, p. 214-228, 2013.

SANTOS, J.O.; SANTOS, R.M.S.; FERNANDES, A.A.; SOUSO, J.S., BORGES, M.G.B.; FERREIRA, R.T.F.V.; SALGADO, A.B. Os impactos produzidos pelas mudanças climáticas. **Agropecuária Científica no Semiárido**, Campina Grande, v. 9, n. 1, p. 9-16, 2013.

SAU, F.; BOOTE, K.J.; NOGUEIRA, B.R. Evaluation and improvement of CROPGRO-soybean model for a cool environment in Galicia, North West Spain. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 61, p. 273-291, 1999.

SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS AGRÍCOLAS FUTUROS. **MacroPrograma1**. Disponível em: <http://www.macroprograma1.cnptia.embrapa.br/scaf/>. Acesso em: 10 jul. 2013.

SEDIYAMA, T.; TEIXEIRA, R.C.; REIS, M.S. Melhoramento da soja. In: BORÉM, A. **Melhoramento de espécies cultivadas.** Viçosa: Editora UFV, 1999. p. 487-533.

SHERMAN, G.E.; HALASZ, S.; HUGENTOBLER, M.; SUTON, T.; ANTIPOV, D.; COLETTI, M.; LUTHMAN, l.; OBERENDER, L.; SPOERRI, C.; ANDERSON, C.; MACAULAY, G.; HOSHI, M.; BREWER, P.; BLAZEK, R.; ELWERTOWSKI, T.; CONTRERAS, G.; DOBIAS, M.; MORLEY, B.; HOMANN, M.; FICHER, J.E.; DHAIR, T.; LAMI, L.; PASETTI, M.; LOSKOT, M.; ERSTS, P.; JURGIEL, B.; CAVALLINI, P.; FARMER, C.J.Q.; MASINI, L.; MACHO, W.; SUCAMELI, G.; FURIERI, A.; BRUY, A.; BERNASOCCHI, M.; WOODROW, N.; YAKUSHEV, S.; HONT, R.L.; TOURING, E.; SHAFFER, L.; OLAYA, V.; DEHAAN, D.; KUHN, M.; LAROSA, S.; DAWSON, N.; PARAMESWARAN, V.; CROOK, C. **QGIS Dufour – version 2.0**. Boston: Free Software Foundation, 2012.

SIQUEIRA, O.J.W., STEINMETZ, S., FERREIRA, M.F., COSTA, A.C., WOZNIAK, M.A. Mudanças climáticas projetadas através dos modelos GISS e reflexos na produção agrícola brasileira. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 8, n. 2, p. 311-320, 2000.

SOLER, C.M.T.; SENTELHAS, P.C.; HOOGENBOOM, G. Application of the CSM-CERES-Maize model for planting date evaluation and yield forecasting for maize grown off-season in a subtropical environment. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 27, p. 165-177, 2007.

STRECK, N.A.; ALBERTO, C.M. Estudo numérico do impacto da mudança climática sobre o rendimento de trigo, soja e milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 9, p. 1351-1359, 2006.

SUMMERFIELD, R.J.; ROBERTS, E.H.; LAWN, R.J. Measurement and prediction of flowering in soybeans in fluctuating field environments. In: WORLD SOYBEAN RESEARCH CONFERENCE, 4., 1989, Buenos Aires. **Proceedings…** Buenos Aires, 1989. p. 82-87.

TAIZ, L.; ZIEGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819 p.

TARASOVA, T.A.; FERNANDEZ, J.P.R.; PISNICHENKO, I.A.; MARENGO, J.A.; CEBALLOS, J.C.; BOTTINO, M.J. Impact of new solar radiation parameterization in the Eta model on the simulation of summer climate over South America. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, Washington, v. 45, p. 318-333, 2006.

THOMAS, J.F. Ontogenetic and morphological plasticity in crop plants. In: BOOTE, K.J.; BENNETTI, J.M.; THOMAS, R.S.; PAULSEN, G.M. **Physiology and determinations of crop yield**, Madison: ASA; CSSA; SSSA, 1994. chap. 7B, p. 181-185.

THORPA, K.R.; DEJONGEB, K.C.; KALEITAC, A.L.; BATCHELORD, W.D.; PAZE, J.O. Methodology for the use of DSSAT models for precision agriculture decision support. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 64, p. 276-285, 2008.

TIMSINA, J.; GODWIN, D.; HUMPHREYS, E.; SINGH, Y.; SINGH, B.; KUKAL, S.S.; SMITH, D. Evaluation of options for increasing yield and water productivity of wheat in Punjab, India using the DSSAT-CSM-CERES-Wheat model. **Agricultural and Water Management**, Amsterdam, v. 95, p. 1099-1110, 2008.

TOMASELLA, J.; BORMA, L.S.; MARENGO, J.A.; RODRIGUEZ, D.A.; CUARTAS, L.A.; NOBRE, C.A.; PRADO, M.C.R. The droughts of 1996-97 and 2004-05 in Amazonia: hydrological response in the river main-stem. **Hydrological Processes**, Amsterdam, v. 25, p. 1228-1242, 2010.

TRACE - TRACING THE ORIGIN OF FOOD. **Molecular biology database**. Disponível em: <http://www.bats.ch/trace/>. Acesso em: 10 ago. 2012.

VASCONCELLOS, F.C.; CAVALCANTI, I.F.A. Uma avaliação das previsões do modelo regional ETA em alta resolução para dois casos de chuva intensa ocorridos na região da serra do mar. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 25, n. 4, p. 501-512, 2010.

VENCATO, A.Z.; KIST, B.B.; SANTOS, C.; CARVALHO, C.; SILVEIRA, D.; REETZ, E.R.; BELING, R.R.; CORRÊA, S. **Anuário brasileiro da soja 2010.** Santa Cruz do Sul: Ed. Gazeta Santa Cruz, 2010. 75 p.

VIVAN, G.A. **Resposta da irrigação suplementar em diferentes cenários para a cultura da soja na microrregião de Passo fundo, RS**. 2010. 88 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

WAHUA, T.A.T.; MILLER, D.A. Effects of shading on the N2-fixation, yield, and plant composition of field-grown soybeans. **Agronomy Journal**, Madison, v. 70, p. 387-392, 1978.

WANG, F.; FRAISSE, C.W.; KITCHEN, N.R.; SUDDUTH, K.A. Site-specific evaluation of the CROPGRO soybean model on Missouri clay pan soils. **Agricultural Systems**, Amsterdam, v. 76, p. 985-1005, 2002.

WILKERSON, G.G.; JONES, J.W., BOOTE, K.J.; MISHOE, J.W. **SOYGRO V5.0:** soybean crop growth and yield model. Gainesville: University of Florida, Agricultural Engineering Dept., 1985. 253 p. (Technical Documentation).

YANG, Q.; XU, Y.L.; LIN, E. D. Application of DSSAT crop model on prediction of potential yield of spring wheat in Ningxia. **Agricultural Research in the Arid Areas**, Yangling, v. 27, p. 41-48, 2009.

ZHA, Y.; WU, XUE, P.; HE, X.H.; ZHANG, H.M.; GONG, F.F.; CAI, D.X.; ZHU, P.; GAO, H.J. Basic soil productivity of spring maize in black soil under long-term fertilization based on DSSAT Model. **Journal of Integrative Agriculture**, Amsterdam, v. 13, n. 3, p. 577-587, 2014.

ZULLO JR., J.; PINTO, H.S.; ASSAD, E.D. Impact assessment study of climate change according to IPCC Prognostics on Brazilian agricultural zoning: meteorological applications. **Royal Meteorological Society**, Reading, v. 1, p. 69-80, 2006.