**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

Épocas de semeadura e sua influência no potencial produtivo da cultura da soja em regiões produtoras do estado do Paraná, Brasil

José Angel Lesme Brun

Dissertação apresentada para a obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração: Fitotecnia

**Piracicaba
2019**

José Angel Lesme Brun
Engenheiro Agrônomo

**Épocas de semeadura e sua influência no potencial produtivo da cultura da soja em
regiões produtoras do estado do Paraná, Brasil**

Orientador:
Prof. Dr. **KLAUS REICHARDT**

Dissertação apresentada para a obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração: Fitotecnia

Piracicaba
2019

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

Brun, José Angel Lesme

Épocas de semeadura e sua influência no potencial produtivo da cultura da soja em regiões produtoras do estado do Paraná, Brasil / José Angel Lesme Brun. - - Piracicaba, 2019.

157 p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. *Glycine max* 2. Zoneamento agrícola de risco climático 3. Modelagem agrometeorológico 4. Capacidade de água disponível 5. Produção vegetal I. Título

Dedico

*À Deus.
Às minhas avós Ana (†) e Pocha (†),
e a minha família.*

AGRADECIMENTOS

À Deus, por ter me dado a fortaleza de continuar e superar este caminho tão difícil, pela saúde e a paz que me levaram a dar este grande passo na minha vida.

Aos meus pais, Julio e Ana, e irmãos, Julio, Anita e Ale, pelo apoio incondicional, o sacrifício e pelas forças que me deram durante toda a minha formação profissional, agradecê-los especialmente pelos valores pessoais que têm me ensinado. À minha grande família, agradecido por fazer que os meus dias sejam mais fáceis. Os considero o mais importante na minha vida.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ) da Universidade de São Paulo (USP) pela oportunidade de realizar os meus estudos de mestrado no Programa de Pós-graduação em Fitotecnia do Departamento de Produção Vegetal.

Ao Prof. Dr. Klaus Reichardt, pela orientação, atenção e alegria que me deu durante a realização do mestrado.

Ao Prof. Dr. Durval Dourado Neto, pela orientação, acompanhamento e ensinamentos durante todo o processo de elaboração deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Paulo Sentelhas, pelas sugestões, ensinamentos e amizade neste tempo, o considero um excelente profissional e exemplo de pessoa.

Aos Prof. Dr. Felipe Pilau e Prof. Dr. Rafael Battisti, pela colaboração incondicional na realização deste trabalho.

Aos colegas, professores, funcionários e amigos da ESALQ/USP, especialmente aos do Laboratório Multiusuário, pela convivência e confraternizações realizadas durante este período.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Estudos Agrários “Luiz de Queiroz” (FEALQ) pelas bolsas de estudo concebidas.

Às instituições, Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR), Agência Nacional de Águas (ANA) e ao Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR) pelo fornecimento dos dados meteorológicos e de produção da cultura da soja.

Aos meus amigos paraguaios Osmar Arias, Camila Gächter, Ignacio Achon, Arnaldo Esquivel, Hugo González, Adrián Correa, Sarah Guerreño, Day Orzuza, Gerardo “Baby” López (+) e Mabel López pelos bons momentos compartilhados em Piracicaba.

Aos meus amigos brasileiros Fred Hickmann, Gilmar Martinelli, Francisco de Figueiredo, Rafael Yassue, Diandra Achre e Tânia Bayer, pelos almoços e atividades de todos os domingos na “República Tereré” e no prédio.

A meus companheiros e amigos do Vôlei da ESALQ/USP, especialmente ao técnico Adriano Trevisan, quem considero um irmão, que têm me permitido jogar o esporte que mais gosto, tendo ganho vários campeonatos com eles.

A todos, que de alguma maneira contribuíram na minha formação acadêmica e pessoal, para poder alcançar este objetivo tão importante.

MUITO OBRIGADO A TODOS!

SUMÁRIO

RESUMO.....	7
ABSTRACT	8
1. INTRODUÇÃO.....	9
2. REVISÃO DE LITERATURA	11
2.1. A CULTURA DA SOJA	11
2.1.1. Origem e importância econômica.....	11
2.1.2. Ecofisiologia da soja	14
2.1.2.1. Características agronômicas	14
2.1.2.2. Requerimentos edafoclimáticos	15
2.1.2.3. Radiação solar e fotoperíodo	17
2.1.2.4. Cultivares, épocas de semeadura e locais de cultivo	18
2.1.2.5. Fenologia	19
2.1.2.6. Componentes de produtividade	21
2.1.3. Zoneamento agrícola	22
2.1.4. Tipos e níveis de produtividade.....	24
2.1.5. Modelos para estimação de produtividade	26
2.1.5.1. Modelo da Zona Agroecológica – MZA	27
2.1.6. Déficit hídrico e sua influência nos parâmetros produtivos	29
3. MATERIAL E MÉTODOS	31
3.1. LOCALIZAÇÃO	31
3.2. FASES FENOLÓGICAS DA SOJA	32
3.3. CARACTERIZAÇÃO EDAFOCLIMÁTICA DO ESTADO DO PARANÁ.....	34
3.3.1. Clima da região	34
3.3.2. Solos da região	38
3.4. DADOS METEOROLÓGICOS	39
3.5. ESTIMATIVA DE PRODUTIVIDADE.....	41
3.5.1. Produtividade potencial.....	41
3.5.1.1. Data de semeadura ótima em função da produtividade potencial	44
3.5.2. Produtividade atingível	45
3.5.2.1. Data de semeadura ótima em função da produtividade atingível	46
3.5.3. Produtividade real	47
3.6. CRITÉRIOS PARA DEFINIÇÃO DOS PERÍODOS FAVORÁVEIS DE SEMEADURA.....	49
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	51
4.1. CAMPO MOURÃO	52
4.2. CASCAVEL	61
4.3. IRATI.....	71
4.4. JOAQUIM TÁVORA	81
4.5. LONDRINA	91
4.6. NOVA CANTU.....	101
4.7. PATO BRANCO	111
4.8. PONTA GROSSA.....	121
4.9. UMUARAMA.....	130
5. CONCLUSÕES.....	141
REFERÊNCIAS.....	143
ANEXO.....	157

RESUMO

Épocas de semeadura e sua influência no potencial produtivo da cultura da soja em regiões produtoras do estado do Paraná, Brasil

No dinâmico e eficiente mundo do agronegócio brasileiro, a soja, representa uma das mais importantes culturas agrícolas produzidas no Brasil, sendo além disso, uns dos principais *commodities* no mercado mundial. Entre os fatores que afetam a produção agrícola no Brasil, destaca-se o clima, limitando o potencial de rendimento principalmente por causa do déficit hídrico. É por isso que devem ser avaliadas estratégias de manejo para identificar períodos onde as condições climáticas sejam favoráveis para reduzir o risco de perdas, por exemplo, através da modificação do ambiente de cultivo por meio da definição da melhor época de semeadura, visando atingir produtividades próximas ao potencial produtivo da cultura. Baseados nessa problemática, o objetivo deste estudo foi definir períodos ideais de semeadura verificando sua influência no potencial produtivo da cultura da soja em 9 municípios do estado do Paraná. Para tanto, testou-se o modelo da Zona Agroecológica (MZA) – FAO para a estimativa da produtividade potencial (PP) da cultura da soja em base a 21 épocas de semeadura, 56 anos de dados meteorológicos e 3 cultivares de ciclo precoce, médio e tardio, penalizando-as posteriormente em função do déficit hídrico nos solos com 5 diferentes capacidades de água disponível (CAD), obtendo-se a produtividade atingível (PA) e por último, em função da média de produtividade real (PR) e a PP máxima estimada para cada cultivar e município, foi calculada a quebra de produtividade (PR/PP). Após da definição dos períodos favoráveis de semeadura, com base nas produtividades potencial e atingível foi aplicado o modelo para determinação do dia ótimo de semeadura (Jo) em função de parâmetros empíricos. A partir das simulações, foram possíveis identificar os períodos favoráveis de maior probabilidade de se obter as máximas produtividades (kg ha^{-1}) em base às condicionantes climáticas propostas. Posteriormente, esses foram comparados aos recomendados pelo Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) do Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Observou-se de maneira geral que os períodos de simulação da semeadura da soja pela metodologia proposta, coincidiram com os do ZARC, variando de acordo à localidade e os diferentes ciclos da cultura. Enquanto às perdas estimadas neste trabalho, de forma geral foram observados valores máximos de 52,8; 62,3 e 67,7% para cultivares de ciclo precoce, médio e tardio, respectivamente, apenas em base à definição da melhor época de semeadura. Por tanto, pode-se concluir que o MZA – FAO foi o mais indicado para a estimação do potencial produtivo por meio da definição das épocas preferenciais de semeadura da cultura da soja em função das diferentes CAD e pelo déficit hídrico, apresentado potencial de uso nas metodologias utilizadas no ZARC, gerando informações úteis ao produtor e visando reduzir as perdas causadas pelo clima.

Palavras-chave: *Glycine max*; Zoneamento agrícola de risco climático; Modelagem agrometeorológica; Capacidade de água disponível; Produção vegetal

ABSTRACT

Sowing dates and their influence on the productive potential of soybean crop in producing regions of the state of Paraná, Brazil

In the dynamic and efficient world of Brazilian agribusiness, soybean represents one of the most important agricultural crops produced in Brazil and is also one of the main commodities in the world market. Among the factors that affect agricultural production in Brazil, the climate is outstanding, limiting yield potential being mainly due to the water deficit. That is why management strategies should be evaluated to identify periods where climatic conditions are favorable to reduce the risk of losses, for example, by modifying the growing environment by defining the best sowing season, aiming to achieve productivities near to the productive potential of the crop. Based on this problem, the objective of this study was to define optimal sowing periods by verifying their influence on the productive potential of the soybean crop in 9 municipalities in the state of Paraná. In order to do so, the model of the Agroecological Zone (MZA) – FAO progame for the estimation of the potential productivity (PP) of the soybean crop was tested based on 21 sowing seasons, 56 years of meteorological data and 3 cultivars of early, medium and later. Productivities were penalized as a function of the water deficit in the soils with 5 different available water capacities (AWC), obtaining attainable productivity (AP) and finally, as a function of the real productivity average (RP). The PP estimated maximum for each cultivar and municipality, we calculated the productivity decrease (PR/PP). After the definition of favorable sowing periods, based on potential and attainable yields, the model for determination of the optimal sowing day (Jo) was applied as a function of empirical parameters. From the simulations, it was possible to identify the favorable periods with the highest probability of obtaining the maximum yields (kg ha^{-1}) based on the proposed climatic conditions. Subsequently, these were compared to those recommended by the ZARC of the Ministry of Agriculture, Livestock and Supply (MAPA). It was observed in general that the periods of simulation of soybean sowing by the proposed methodology coincided with those of the ZARC, varying according to the locality and the different cycles of the crop. While the losses estimated in this study, in general, maximum values of 52.8; 62.3 and 67.7% were observed for early, middle and late cycle cultivars, respectively, only based on the definition of the best sowing season. Therefore, it can be concluded that the MZA-FAO was the most indicated method for the estimation of the productive potential by means of the definition of the preferential times of sowing of the soybean crop in function of the different CADs and the water deficit, presenting potential of use in the methodologies of ZARC, generating information useful to the producer and aiming to reduce the losses caused by the climate.

Keywords: *Glycine max*; Agricultural risk-zone zoning; Agrometeorological modeling; Available water capacity; Plant production

1. INTRODUÇÃO

O agronegócio brasileiro é uns dos mais dinâmicos e eficientes do mundo, e entre as culturas agrícolas e *commodities* mais importantes produzidos pelo Brasil, destaca-se a soja (*Glycine max* (L.) (Merrill)), utilizada principalmente na alimentação humana e animal, além dos subprodutos geradores de energia como o biodiesel.

A soja tem papel fundamental no desenvolvimento socioeconômico de vários polos produtores e superávit da balança comercial brasileira. Nas últimas décadas, a cultura da soja apresentou incrementos expressivos de área cultivada e produtividade nas principais regiões produtivas do Brasil (HIRAKURI; BALBINOT, 2015; HIRAKURI, 2017).

O Brasil, aparece atualmente como segundo maior produtor e primeiro exportador mundial de soja, tendo como principal concorrente aos EUA (USDA, 2018). Na safra brasileira 2017/18, o valor de exportação do grão e outros subprodutos (farelo e óleo) atingiu aproximadamente os US\$ 31,7 bilhões (representando 83,6 milhões de toneladas), sendo uma das maiores fontes do PIB do país (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA, 2018).

O estado do Paraná, segundo maior estado produtor de soja no Brasil, ficando apenas atrás do Mato Grosso, apresentou nos últimos anos uns dos índices mais elevados de produtividade no Brasil e no mundo com uma média de $3,7 \text{ t ha}^{-1}$, sendo o clima favorável e o manejo do produtor os fatores que influenciaram nesses resultados. Isso, foi observado no Desafio de Máxima Produtividade de Soja da safra 2016/17, realizada pelo Comitê Estratégico Soja Brasil (CESB), resultando vencedor um produtor do município de Guarapuava, PR, com uma produtividade de 8.945 kg ha^{-1} , considerando assim o potencial produtivo da soja nessa região (COMITÉ ESTRATÉGICO SOJA BRASIL - CESB, 2017).

O entendimento das exigências climáticas da soja, das relações hídricas no sistema solo-planta-atmosfera e a aplicação prática destes conhecimentos poderão indicar soluções para a redução dos riscos de insucesso da cultura (Farias et al., 2009). Dentre os riscos associados ao cultivo da soja nas diferentes regiões produtoras do Brasil, a ocorrência de déficit hídrico é tida como a principal, levando à variabilidade interanual e regional da produtividade (SENTELHAS; BATTISTI, 2016).

De todos os fatores inerentes à produção agrícola, o clima é o de mais difícil controle, exercendo maior ação limitante às máximas produtividades. Agrava-se a isto a dificuldade de previsão de ocorrências climáticas adversas, principais fatores de risco e de insucesso na exploração das principais culturas. Estresses abióticos, como a seca, o excesso

de chuvas, as temperaturas extremas, a baixa luminosidade, e outros fatores, podem reduzir, significativamente, os rendimentos em lavouras e restringir os locais, as épocas e os solos, onde espécies, comercialmente importantes, podem ou não ser cultivadas. Dentre os elementos climáticos, a temperatura, o fotoperíodo e a disponibilidade hídrica são os que mais afetam o desenvolvimento e a produtividade da soja (FARIAS et al., 2009).

A ocorrência de fatores de risco para o insucesso no cultivo de soja é devido à imprevisibilidade das variações climáticas, constatando-se as secas como principal evento desfavorável (71%), seguida por chuva excessiva (22%), granizo e geada, além disso, são relatadas ainda as perdas por ocorrência de pragas e de doenças (0,25%) (GÖPFERT et al., 1993).

Além do déficit hídrico ser o principal fator limitante da produtividade de soja no Brasil, ocasionando, em média, perdas de 1373 ($\pm$ 543) kg ha⁻¹ (Sentelhas et al., 2015), há outros fatores como a radiação solar, a temperatura do ar e o excesso hídrico, que podem ter efeitos favoráveis ou negativos na produtividade de uma cultura.

O Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) é uma ferramenta de gestão agrícola que visa a minimização dos riscos relacionados aos fenômenos climáticos adversos permitindo a cada local identificar a melhor época de plantio das culturas, nos diferentes tipos de solos e ciclos de cultivares (BRASIL, 2018).

Portanto, os objetivos deste trabalho foram:

- ▶ Testar o modelo de estimativa de produtividade da Zona Agroecológica – FAO para a cultura da soja.
- ▶ Definir períodos ideais de semeadura de soja para diferentes locais do estado do Paraná, com base nos diferentes ciclos da cultura e tipos de solos.
- ▶ Avaliar os efeitos de cinco diferentes capacidades de água disponível (CAD) dos solos em questão em função da produtividade atingível da soja nas diferentes datas e locais de semeadura.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A cultura da soja

2.1.1. Origem e importância econômica

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma planta oleaginosa anual originária da região nordeste da China e pertencente à família Fabaceae (JUDD et al., 2009).

Os primeiros relatos da soja no Brasil datam de 1882, na Bahia, onde a cultura não teve boa adaptação com as cultivares daquela época. Mais tarde, em 1891, seria introduzida em São Paulo e no Rio Grande do Sul apresentando melhor desempenho com as cultivares trazidas dos Estados Unidos de América (MIYASAKA; MEDINA, 1981).

A soja começou a ser cultivada no Rio Grande do Sul, como uma opção de rotação com o trigo, e o cultivo da soja se expandiu para o norte, atingindo o estado de Santa Catarina, Paraná e São Paulo (GONÇALVES et al., 2005).

Entre as grandes culturas produtoras de grãos, a soja apresentou o maior percentual de crescimento da produção desde os anos 70. De 1970 a 2017, a produção mundial de soja cresceu 8 vezes (44 para 351 milhões de toneladas). No Brasil, o crescimento da produção no período foi de 76 vezes (1,5 para 114 milhões de toneladas). Na última década (2006/07 a 2017/18) a área global cultivada incrementou 33,5% para a soja, 20,4% para o milho e 4,7% para o arroz e o trigo (DALL'AGNOL, 2017).

No mundo, na safra de soja 2016/17 foram semeados 120.960.000 ha, com uma produção total de 351.310.000 t e uma produtividade média de 2.900 kg ha⁻¹, tendo aumentos de 0,45% na superfície semeada, 11,5% na produção total e 12,2% no rendimento médio em relação à safra anterior (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE – USDA, 2017).

Nas últimas duas décadas, o crescimento anual da produção de soja no Brasil foi de 3,5 milhões de toneladas, representando um incremento de 13,4% anual. O aumento da produtividade e da área cultivada, teve relação direta no incremento da produção, destacando-se que a produção brasileira tem potencial de crescimento tanto em superfície plantada quanto em rendimento (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2017).

No Brasil, na safra de soja 2017/18 foram semeadas 34.811.379 ha, com uma produção total de 116.405.751 t e um rendimento médio de 3.349 kg ha⁻¹, tendo aumentos de

2,6% na área de produção e 1,2% na produção total, e diminuindo em 1,3% a produtividade em relação à safra anterior (IBGE, 2018).

Análises de produção, área cultivada e produtividade da soja no Brasil em duas décadas (1997-2016), indicam que as taxas anuais de crescimento foi de 3,5 milhões de t (13,4%), 1,05 milhões de ha (9,2%) e 32,7 kg ha⁻¹ (1,42%), respectivamente. Os estados do MT, PR e RS apresentaram as maiores taxas anuais absolutas de crescimento de produção e área. Porém, as maiores taxas anuais de aumento da produtividade ocorreram no RS, PA, SC e TO. Para Balbinot et al., (2017), o aumento da produção de soja no Brasil é resultante tanto do aumento da área cultivada quanto da produtividade, porém a correlação entre a área cultivada e a produção é maior do que a correlação entre a produtividade e a produção.

Os estados que mais produzem atualmente são Mato Grosso, Paraná e Rio Grande do Sul, onde a tendência de produção de soja no Brasil é a de se concentrar no Centro-Oeste, com produções significativas no Nordeste e Norte. A produção da região Sul tende a manter ou mesmo diminuir a área, embora a produção possa aumentar com o aumento do rendimento (GONÇALVES et al., 2005).

O Paraná foi o segundo estado do Brasil com maior produção de soja na safra 2017/18 ficando apenas atrás do Mato Grosso, tendo uma área plantada de 5.552.520 ha, uma produção total de 19.266.672 t e uma produtividade de 3.470 kg ha⁻¹, aumentado em 5,3% a superfície de produção e diminuindo em 2,8% a produção total e 7,7% na produtividade em relação ao ano anterior (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2018).

O Brasil exporta mais de 70% da soja que produz, ou seja, mais de 80 milhões de toneladas do grão, farelo e óleo e que nos últimos anos tem trazido cerca de US\$ 30 bilhões ao ano, representando o maior faturamento na pauta de exportações (BRANDALIZZE, 2017).

Enquanto a área de cultivo (ha) e produção total (t) da cultura da soja, apresentados na Figura 1, pode-se observar uma tendência ao longo do tempo de uma variação crescente desses parâmetros tanto a nível mundial quanto no Brasil, e embora a produtividade (kg ha⁻¹) nos quase últimos vinte anos ficou estagnada, não atingindo o máximo potencial produtivo devido a diversos fatores que limitam o ganho de produtividade, no Brasil, especificamente no estado do Paraná destaca-se pela obtenção de elevados índices de rendimento em comparação com outras regiões no mundo.

Figura 1. (A) Área cultiva, (B) produtividade e (C) produção total da cultura da soja no mundo, no Brasil e no estado do Paraná. Fonte: FAO (2017).

No ranking mundial de países produtores de soja na safra 2016/17 (Tabela 1), os EUA aparecem como primeiro produtor com quase 117 milhões de toneladas, seguido pelo Brasil com pouco mais de 114 milhões de toneladas, representado pelo 33,2% e 32,4% da

produção total mundial, respectivamente. Enquanto a exportação de soja, o Brasil encontra-se no primeiro lugar com 61,9 milhões de toneladas, seguido pelos EUA com 55,79 milhões de toneladas, tornando-se com 41,5% e 37,4%, respectivamente, como os principais exportadores mundiais do grão.

Tabela 1. Ranking mundial de países produtores e exportadores de soja na safra 2016/17, com suas respectivas produções e exportações de grãos (milhões de toneladas).

Produção			Exportação		
Ranking	País	Milhões de Toneladas	Ranking	País	Milhões de Toneladas
1°	EUA	116,92	1°	Brasil	61,90
2°	Brasil	114,10	2°	EUA	55,79
3°	Argentina	57,80	3°	Argentina	9,00
4°	China	12,90	4°	Paraguai	6,30
5°	Índia	11,50	5°	Canadá	4,40
	Mundo	351,32		Mundo	149,06

Fonte: USDA (2018).

2.1.2. Ecofisiologia da soja

2.1.2.1. Características agronômicas

A soja é uma cultura anual com ciclo de vida de 70 a 200 dias, a semente possui germinação epígea e a planta que é herbácea apresenta hábito de crescimento ereto a prostrado, de tipo de crescimento determinado, semideterminado ou indeterminado, com hastes e vagens pubescentes na cor cinza ou marrom (SEDIYAMA et al., 2009).

A maioria das sementes das cultivares de soja apresentam, em média, 37 a 42% de proteína, podendo atingir até 52%, e o teor de óleo entre 17 a 22% alcançando valores de cerca de 28% (SEDIYAMA et al., 2015).

Bernard (1972) define o tipo de crescimento da soja como o momento em que cessa o crescimento da haste principal após o início do florescimento (R1, como sugerido por Fehr e Caviness (1977), processo influenciado pelo genótipo, temperatura, fotoperíodo e manejo da cultura. Conceitualmente, as cultivares com tipo de crescimento determinado se caracterizam pelo nulo ou pequeno crescimento em estatura após o início do florescimento, e plantas com tipo indeterminado continuam emitindo nós e alongando as hastes após o R1, o que leva a um crescimento significativo em estatura e aumento do número de nós até o início do enchimento de grãos.

As cultivares de tipo de crescimento determinado apresentam maior taxa de crescimento até R1, consequentemente maior estatura de planta e maior número de nós no início de florescimento, enquanto que as cultivares de tipo indeterminado apresentam crescimento inicial mais lento, porém cessam o crescimento próximo ao início do enchimento de grãos (ZANON et al., 2016b).

A utilização de cultivares de tipo de crescimento indeterminado permitiu antecipar (setembro e início de outubro) ou atrasar (janeiro e início de fevereiro) a semeadura de soja no sul do Brasil (ZANON et al., 2015; ZANON et al., 2016a).

2.1.2.2. Requerimentos edafoclimáticos

No Brasil, a soja tem sido cultivada em várias condições de ambiente, desde regiões frias, com altitude superior a 1200 m, até regiões quentes, com baixas altitudes e latitudes, gerando diferentes potenciais para produção da oleaginosa (BALBINOT et al., 2017).

As condições térmicas têm influência nos diversos processos das plantas, desde a germinação e emergência, função da temperatura do solo, além do crescimento e desenvolvimento da planta como um todo, condicionado pelas temperaturas do ar e do solo. A disponibilidade térmica tem influência direta no crescimento e desenvolvimento das plantas, sendo que as temperaturas elevadas aceleram o metabolismo vegetal, enquanto as baixas o reduzem e prolongam o ciclo das plantas (BERGAMASCHI, 2017).

A soja pode ser cultivada em uma ampla gama de solos, exceto aqueles que são muito arenosos, com o melhor crescimento em solos aluviais com alta matéria orgânica. O cultivo de soja apresenta condições de crescimento ótimas a temperaturas médias de 20 °C a 30 °C (WANI; HENG, 2012), sendo 30 °C a ótima para o desenvolvimento da planta (FARIAS et al., 2007).

O crescimento e desenvolvimento da cultura da soja, diminui ou torna-se nulo nas regiões onde as temperaturas são menores ou iguais a 10 °C, sendo impróprias para seu cultivo. Por outra parte, efeitos adversos na taxa de crescimento são observados com temperaturas acima de 40 °C, causando danos no período de floração e diminuindo a capacidade de retenção de vagens. Esses problemas acentuam-se drasticamente com episódios concomitantes de elevadas temperaturas e déficits hídricos (FARIAS et al., 2007).

A soja, produzida em praticamente todo o Brasil, apresenta produtividades que estão em função das diferentes regiões produtoras, anos de cultivo, épocas de semeadura, cultivares empregadas, entre outros fatores. A variabilidade desses fatores ocorre devido às condições

climáticas ao longo do ciclo da cultura que, de acordo às respostas diferenciadas das cultivares podem apresentar melhor desempenho sob variadas condições, especialmente o déficit (SENTELHAS et al., 2015) ou ao excesso hídrico (DEL PONTE; ESKER, 2008).

A água, é um fator imprescindível nos processos fisiológicos e bioquímicos da planta de soja, principalmente nos períodos entre a germinação-emergência e a floração-enchimento de grãos. A demanda hídrica da soja atinge seu máximo valor durante o período de floração-enchimento de grãos requerendo até mais de 7 mm por dia em condições potenciais (ZANON et al., 2018). Ao longo do ciclo de desenvolvimento da soja com potencial produtivo elevado, necessita de aproximadamente 800 mm de água para expressar seu potencial, sendo a distribuição regular das chuvas/irrigações o fator crucial, atendendo as demandas nos períodos mais críticos (ZANON et al., 2016a).

Estima-se que as perdas na safra de soja devido ao déficit hídrico alcançam valores de 93%, o que ocasiona uma variação interanual significativa na produtividade e produção total de grãos (BERLATO; FONTANA, 2003).

A soja tem dois períodos críticos à falta de água, desde a semeadura à emergência e principalmente no enchimento de grãos. Tanto o excesso como a falta de água durante a germinação, são prejudiciais no estabelecimento da cultura, sendo que nesse período os excessos hídricos são mais limitantes que os déficits (SALINAS et al., 1989), porém, é mais prejudicial a ocorrência da falta de água durante o período de enchimento dos grãos do que durante a floração (DOSS et al., 1974; SIONIT; KRAMER, 1977).

O estágio de desenvolvimento e a demanda evaporativa da atmosfera são fatores que influenciam na variação do consumo de água pela cultura, e que estão em função das condições climáticas de cada região, ano e época de semeadura (STEWART; NIELSEN, 1990; BERGAMASCHI et al., 1992). Dependendo do clima, solo, cultivar e manejo da cultura, a evapotranspiração da soja varia de 300 a 800 mm (WANI; HENG, 2012).

A água, a temperatura e os estresses nutricionais afetam o crescimento e o desenvolvimento da soja. No período vegetativo, a soja é muito sensível ao déficit hídrico. O estresse hídrico que ocorre no início da fixação de vagens para o enchimento das sementes tem um maior impacto negativo sobre o rendimento do que quando ocorre em outros estádios (DOORENBOOS; KASSAM, 1979).

Board e Kahlon (2011) definem estresse ambiental como a deficiência ou o excesso de determinado fator em intensidade suficiente para reduzir significativamente a produtividade e/ou prejudicar a qualidade das culturas, divididos em dois tipos, abióticos; provenientes de fatores não vivos, que podem ser divididos em atmosféricos (radiação solar,

temperatura do ar, umidade e chuva) e do solo (fertilidade, pH, salinidade, compactação, alagamentos e estrutura do solo), e, bióticos; advindos de fatores vivos, tais como plantas daninhas, insetos, doenças e nematoides.

O desenvolvimento da planta e rendimento da soja são resultado da influência mútua entre o potencial genético e o ambiente. O potencial máximo de rendimento, presente em todas as cultivares, é determinado geneticamente. O clima, tem grande influência na expressão do potencial genético em condições de campo, entretanto, através de práticas de manejo de correção do solo, pode-se diminuir essa influência sobre a produção principalmente sobre o estresse hídrico (STORCH, 2017).

Uma série de estudos indicam que os rendimentos da soja não são substancialmente afetados até que o solo da zona radicular tenha sido esgotado abaixo de 60% da água disponível total, desde que o desenvolvimento do dossel não tenha sido dificultado por déficits hídricos leves prolongados durante a fase vegetativa. Além disso, o excesso de umidade afeta severamente a germinação e o crescimento precoce da soja. No entanto, a soja tolera inundações até 7 dias, podendo o rendimento ser reduzido em mais de 40% se houver inundações prolongadas na iniciação floral ou no início do estágio de enchimento das sementes, além de reduzir a nodulação (WANI; HENG, 2012).

Geralmente, o estresse hídrico é o principal fator limitante do rendimento e depende de padrões especiais complexos condicionados pela alta variabilidade das propriedades físicas do solo, que governam a disponibilidade de água no solo e as características de raízes (BATCHELOR et al., 2002). Algumas vezes, a variabilidade climática ao longo do ano, ou ano a ano, pode ter mais impacto sobre o rendimento do que a variabilidade espacial (WANG et al., 2003).

2.1.2.3. Radiação solar e fotoperíodo

O aumento na capacidade da planta na interceptação da radiação solar e o acúmulo de matéria seca durante o estágio vegetativo e o reprodutivo são fatores que determinam o rendimento máximo da soja, sendo que outros fatores como condições meteorológicas, data de semeadura, genótipo, fertilidade do solo, população de plantas e espaçamento entre linhas podem ter influência nesse valor (WELLS, 1993).

A planta de soja é típica de dias curtos, onde as noites longas favorecem o florescimento, tendo uma resposta quantitativa e não absoluta, onde o florescimento ocorre de qualquer forma, adiantando à medida que os dias se tornam mais curtos e, atrasando

progressivamente, à medida que o fotoperíodo excede o fotoperíodo crítico que, em média fica em torno de 13 a 14 horas, e que é normalmente específico para cada genótipo (FARIAS et al., 2009).

A adaptação das cultivares de soja aos diferentes locais de cultivo, são determinadas em função das exigências hídricas, térmicas e fotoperiódicas (Farias et al., 2009). O fotoperíodo crítico é específico para cada cultivar e dessa forma, cada cultivar tem sua adaptação em uma faixa específica de latitude (SEDIYAMA et al., 2016). O conhecimento das condições de fotoperíodo, temperatura e umidade é fundamental para a expressão da capacidade produtiva da soja em cada época e local adequado (FERREIRA et al., 2016).

As respostas morfológicas e fenotípicas da soja tais como altura da planta, indução ao florescimento, determinada pelo fotoperíodo e modulada pela temperatura, e a ontogenia, são dependentes da duração e intensidade da radiação solar e a qualidade do espectro luminoso (THOMAS, 1994).

2.1.2.4. Cultivares, épocas de semeadura e locais de cultivo

Os efeitos das variações climáticas entre locais ou regiões, caso a latitude seja diferente, poderá haver efeito interativo entre fotoperíodo e temperatura sobre a fenologia das plantas, se estas tiverem resposta fotoperiódica. Uma mesma cultivar pode alongar ou reduzir o ciclo, dependendo da combinação nas alterações de temperatura e fotoperíodo entre regiões (BERGAMASCHI, 2017).

Estudos realizados por Zanon et al. (2016b) demonstraram que o menor número de nós no estágio fenológico R8 da soja ocorreu nas cultivares de crescimento determinado semeadas em setembro (antes da época preferencial), devido a que as plantas expostas a um fotoperíodo curto no final de setembro e início de outubro foram induzidas a florescer precocemente, cessando a emissão de nós alguns dias após R1. Por sua vez, as cultivares indeterminadas apesar de também terem sido induzidas a florescer, continuaram emitindo nós até o início do enchimento de grãos.

A classificação para definir a duração total do ciclo das cultivares de soja no Brasil é realizada em função do grupo de maturidade, englobando fatores como fotoperíodo, temperatura do ar e adaptação da cultivar ao local de cultivo (ALLIPRANDINI et al., 2009). Portanto, cada cultivar tem uma faixa limitada de adaptação em função do seu grupo de maturidade.

A região, tipo de solo, época de semeadura e ciclo da cultura estabelecem as condições proporcionadas pela variabilidade dos elementos meteorológicos. Assim, no decorrer do ciclo da cultura da soja, essas condições permitem através da descrição da fenologia, identificar e agrupar os estádios de desenvolvimento da planta e relacioná-los com suas necessidades específicas (FARIAS et al., 2009).

2.1.2.5. Fenologia

Para descrever as fases de desenvolvimento da cultura da soja, Fehr e Caviness (1977) propuseram uma escala (Tabela 2), mundialmente utilizada, para dividir as etapas fenológicas da planta, recebendo pelos autores Ritchie et al. (1997), maior detalhamento na fase R5. O sistema proposto divide as fases fenológicas em dois períodos, sendo o primeiro o vegetativo, designado pela letra V e compreendido desde a semeadura até o início da floração, a partir do qual é iniciado o período reprodutivo da cultura, denominado pela letra R.

Com exceção dos estádios VE e VC, as letras V e R são seguidas de índices numéricos que identificam os estádios específicos da cultura, denominados de fases ou subperíodos de desenvolvimento, afetadas pelas condições climáticas ocorridas no período.

O crescimento e desenvolvimento da cultura da soja está em função de diversos fatores, sendo de ordem meteorológico, como o fotoperíodo, temperatura do ar, radiação e insolação solar, disponibilidade hídrica; edáfico, como a estrutura, textura, composição química, capacidade de armazenamento de água e capacidade de troca catiônica do solo; biótica, como as pragas, doenças, nematoides e plantas, entre outros, que influenciam direta, indireta, grande ou em pequena proporção a produtividade final da cultura.

Tabela 2. Fases de desenvolvimento da soja sugerida por Fehr e Caviness (1977), com detalhamento proposto por Ritchie et al. (1997) descrito por Farias et al. (2009) e suas respectivas características relacionadas à produtividade para cada fase exposto por Neumaier et al. (2000).

Período	Fase	¹ Descrição; ² Característica relacionada a produtividade
Vegetativo (V)	VE	Cotilédones acima da superfície do solo.
	VC	Cotilédones completamente abertos; A perda precoce de ambos cotilédones pode reduzir os rendimentos em até 9%.
	V1	Folhas unifolioladas completamente desenvolvidas; A fotossíntese das folhas e a absorção de água e nutrientes pelas raízes da planta em desenvolvimento já são capazes de sustentá-la.
	V2	Primeira folha trifoliolada completamente aberta; Início e aumento gradativo da fixação biológica de nitrogênio e crescimento intenso das raízes laterais até V5.
	V3	Segunda folha trifoliolada completamente aberta.
	Vn	Ante-enésima folha trifoliolada completamente aberta.
	R1	Início do florescimento - Uma flor aberta em qualquer nó da haste principal; A taxa de crescimento vertical das raízes aumenta e se mantém elevada até a fase R5.
Reprodutivo (R)	R2	Florescimento pleno - Uma flor aberta em um dos 2 últimos nós da haste, com folha completamente desenvolvida; Inicia-se rápida e constante acumulação de matéria seca e de nutrientes até após o início da fase R6, associado com o aumento da taxa de fixação biológica de nitrogênio.
	R3	Início da formação da vagem - Vagem com 5 mm de comprimento em um dos 4 últimos nós da haste, com folha completamente desenvolvida; É crucial no estabelecimento do número de vagens por planta (principal componente de produtividade).
	R4	Vagem completamente desenvolvida - Vagem com 2 cm de comprimento num dos 4 últimos nós da haste principal com folha completamente desenvolvida; Ocorre intenso crescimento das vagens e o início do desenvolvimento dos grãos.
	R5	Início do enchimento do grão - Grão com 3 mm de comprimento em vagem num dos 4 últimos nós da haste principal, com folha completamente desenvolvida; Ocorre intenso enchimento dos grãos e redistribuição de nutrientes e matéria seca, máxima fixação biológica de nitrogênio e redução drástica de produtividade sob déficit hídrico.
	R5.1 ³	Grãos perceptíveis ao tato a 10% de granação.
	R5.2 ³	Granação de 11% a 25%.
	R5.3 ³	Granação de 26% a 50%.

R5.4³ Granação de 51% a 75%.

R5.5³ Granação de 76% a 100%.

R6 Grão verde ou vagem cheia - Vagem contendo grãos verdes preenchendo as cavidades da vagem de um dos 4 últimos nós da haste principal, com folha completamente desenvolvida; A planta atinge o máximo peso total de vagens, ainda com altas taxas de acúmulo de matéria seca e de nutrientes na planta e grãos.

R7 Início da maturação - Grãos encontram-se com cerca de 60% de umidade e já são viáveis como sementes, sendo que a ocorrência de excesso hídrico e ataque de percevejos afetam a produtividade.

R8 Maturação plena - 95% das vagens com coloração madura; Necessário haver redução de umidade do grão para a realização da colheita.

Fonte: ¹Farias et al. (2009); ²Neumaier et al. (2000); ³Adaptação de Ritchie et al. (1997).

2.1.2.6. Componentes de produtividade

A produtividade grãos é uma variável de grande complexidade, expressa a interação da genética com o ambiente e que está diretamente relacionada às práticas de manejo, que podem potencializar ou diminuir a produtividade de grãos (ZANON et al., 2018).

Por esse motivo, os componentes de produtividade foram classificados em diretos ou primários, que, quando alterados, impactam diretamente sobre a produtividade de grãos, como o número de plantas por área, número de legumes por planta, número de grão por legume e peso de grãos (NAVARRO JÚNIOR; COSTA, 2002). Por sua vez, os indiretos ou secundários foram considerados como aqueles que afetam os componentes diretos, sendo estes a altura de planta e o número final de nós (MUNDSTOCK; THOMAS, 2005).

A eficiência fotossintética, representado pelo índice de área foliar (IAF), pode ser utilizado para análise de crescimento e como fator condicionante da produtividade, definindo a capacidade do dossel para interceptar a radiação solar, transformar em matéria seca por meio da fotossíntese, e determinar o potencial produtivo da cultura (SETIYONO et al., 2008; ZANON et al., 2015; TAGLIAPIETRA et al., 2018).

Através de fatores de manejo, como época de semeadura, genótipo, densidade de plantas e manejo fitossanitário, é definida evolução do IAF durante o ciclo de crescimento da cultura (SETIYONO et al., 2011). Dentre esses fatores, os que mais afetam o IAF ótimo de uma cultura e que podem ser mais facilmente definidos destacam-se o Grupo de Maturidade Relativo (GMR), dependente da cultivar escolhida, e a época de semeadura.

2.1.3. Zoneamento agrícola

O clima é um dos únicos fatores envolvidos na produção agrícola praticamente incontrolável. A ocorrência de algumas adversidades climáticas, como geadas e secas, pode em determinados casos, ser total ou parcialmente mitigadas, porém, cultivar plantas não adaptadas, suscitam à quebras de safras devido à ocorrência condições desfavoráveis, provocando grandes prejuízos e inviabilizando economicamente a agricultura (CAMARGO et al., 1977).

Em vários anos, tem-se observado significativas quedas nos rendimentos devido a problemas com o clima, principalmente relacionados à ocorrência de secas. Diante deste contexto, com a definição de áreas menos sujeitas a riscos de insucessos devido à ocorrência de adversidades climáticas, o zoneamento agroclimático constitui-se numa ferramenta de fundamental importância em várias atividades do setor agrícola. Isto leva à exploração mais racional da cultura, bem como ao incremento da produção e produtividade, gerando efeitos positivos à economia (FARIAS et al., 1997).

Para decidir a época de semeadura, é importante conhecer os fatores de risco que, quanto mais eficiente for o planejamento das atividades relacionadas à produção, eles tendem a ser diminuídos. O produtor deve-se conscientizar de que a probabilidade de seu sucesso está diretamente relacionada ao seu planejamento, além disso dependente de vários fatores como os riscos climáticos a que está sujeito (AGUIAR; PEREIRA, 2008).

O zoneamento agrícola de risco climático permite definir regiões de aptidão climática e épocas mais favoráveis de semeadura, visando a diminuição dos efeitos causados pela incorreta distribuição de chuvas, a partir do conhecimento das variabilidades climáticas locais e de sua espacialização regional por meio de um Sistema de Informações Geográficas (SIG) (TEIXEIRA; AZEVEDO, 1996; ZULLO JÚNIOR et al., 1999; SILVA; AZEVEDO, 2000).

A técnica de Zoneamento Agroclimático pode ser considerada uma ferramenta de pesquisa, onde a influência da dinâmica e os efeitos dos sistemas naturais sobre os sistemas de produção vegetal são investigados. Essa influência não é restringida apenas para o aumento da fertilidade ou dinâmica da água no solo, senão que tem relevância nos movimentos atmosféricos, aos processos geomorfológicos e, principalmente, às repercussões socioeconômicas ocorridas nas áreas cultivadas (WOLLMANN; GALVANI, 2013).

O objetivo mais procurado na área da agrometeorologia, por meio do zoneamento agroclimático é a determinação da aptidão climática de áreas para o cultivo de espécies de

interesse agrícola. O solo, pode delimitar a aptidão de áreas sob o aspecto edáfico e juntando-o à climática, é formado o zoneamento edafoclimático ou zoneamento ecológico das culturas. O zoneamento agrícola pode envolver o zoneamento ecológico e o levantamento das condições socioeconômicas das regiões, delimitando dessa forma a vocação agrícola das terras (PEREIRA et al., 2007).

Para a produtividade econômica de cada cultura ser atingida, são necessárias condições favoráveis nas diferentes fases do ciclo, como temperaturas ótimas e uma quantidade mínima de água para a etapa vegetativa, e de um período seco nas fases de maturação e colheita. O atendimento dessas exigências é que fará de uma determinada região ser considerada apta para uma dada cultura (PEREIRA et al., 2007).

O risco climático que a cultura de soja está sujeita é acentuado, já que apesar de se apresentarem elevados índices pluviométricos anuais, a irregularidade na distribuição de chuvas e veranicos de longa duração, podendo ocorrer nas fases mais críticas (floração e enchimento de grãos), reduzem sensivelmente os rendimentos (DOORENBOS; KASSAM, 1979).

Várias mudanças surgiram nos sistemas de produção de soja no Brasil, limitando a produtividade de grãos, dentre os quais destacam-se principalmente a redução da duração do ciclo de desenvolvimento da planta para permitir a semeadura de culturas de segunda safra, antecipando a época de semeadura, podendo ocorrer condições climáticas menos propícias para o desenvolvimento da soja (TSUKAHARA et al., 2016).

Em relação ao Zoneamento Agroclimático, é importante se destacar que nem todas as localidades favoráveis apresentam aptidão para o cultivo de soja, porque além da disponibilidade hídrica, devem-se considerar outros fatores para avaliar a viabilidade de exploração da cultura. Além de considerar os parâmetros edafoclimáticos e genotípicos da cultura, é necessário admitir que, fatores bióticos como pragas, doenças, plantas daninhas e nematoides, e fatores de manejo como época de semeadura, população de plantas, fertilização, entre outros, podem reduzir severamente o potencial produtivo da cultura da soja.

Por esse motivo, o vazio sanitário para a cultura da soja no estado do Paraná, aplicado pela Agência de Defesa Sanitária do Paraná (ADAPAR), indica que o período de 90 dias sem cultivo é compreendido desde o dia 10 de junho até 10 de setembro, adequando-se ao Zoneamento Agrícola de Risco Climático, visando a redução ou sobrevivência do inóculo do fungo *Phakopsora pachyrhizi*, causador da ferrugem-asiática da soja, e evitando assim o surgimento precoce da doença na safra da cultura (EMBRAPA, 2017).

2.1.4. Tipos e níveis de produtividade

A eficiência agrícola (EA) é utilizada como indicador do nível de desenvolvimento agrícola regional, sendo a relação entre a energia efetivamente utilizada e a que foi fornecida ao sistema, considerando o conceito EA como a razão entre a produtividade observada a campo e a atingível (PA), estimada por modelos de simulação de crescimento de plantas (Marin et al., 2008). Por outra parte, a eficiência climática (EC), obtida pela relação entre as produtividades atingível e potencial, demonstra, em termos quantitativos, a redução produtiva ocasionada pelo déficit hídrico (BATTISTI et al., 2013).

Entende-se por produtividade potencial (PP) ou potencial de rendimento, aquela obtida por uma cultivar altamente produtiva e bem adaptada ao ambiente de crescimento, em condições sem limitações impostas nem por falta de água e de nutrientes, e nem por ocorrência de pragas e doenças (Doorenbos; Kassam, 1979; Pires et al., 2005; De Ponti et al., 2012). Não se deve confundir com o potencial produtivo ou rendimento potencial, representado pelo potencial genético da cultura, conforme estimativas de modelos de simulação a partir de suposições fisiológicas e agronômicas (EVANS; FISCHER, 1999).

A PA é aquela obtida a partir da penalização da produtividade potencial (PP) pelo déficit hídrico que ocorre em cada fase de desenvolvimento da planta, em função das características da cultura e as variáveis do ambiente, como radiação solar, temperatura e fotoperíodo. Corresponde ao melhor rendimento obtido com o uso da melhor tecnologia disponível, limitada apenas pela disponibilidade hídrica. São produtividades alcançadas experimentalmente ou pelos produtores que tem um melhor desempenho produtivo, em uma dada região (CUNHA et al., 2011).

A produtividade real (PR), ocorrida em condições de campo e considerando os efeitos das condições meteorológicas, nível de manejo da cultura, problemas fitossanitários, entre outros, é normalmente menor do que a PA (PEREIRA et al., 2002; BATHIA et al., 2008).

Na Figura 2, pode-se observar os diferentes tipos e níveis de produtividade dados pelos fatores determinantes constituídos pela radiação solar, a temperatura, o fotoperíodo, a espécie de interesse, a cultivar e a população de plantas, resultando na produtividade potencial (PP). Além disso, em condições de irrigação, existem também outras variáveis limitantes e redutoras da produtividade como o manejo agrícola e da irrigação. Por outra parte, a produtividade atingível (PA) é condicionada em base a fatores limitantes como o déficit hídrico (condições de sequeiro) e nutricional. Por último, os valores de produtividade real

(PR) estão diretamente influenciados pelos fatores redutores como o manejo agrícola, principalmente o controle de pragas, doenças e plantas daninhas.

Figura 2. Tipos e níveis de produtividade em base a fatores determinantes, limitantes e redutores. Fonte: Sentelhas et al., (2016).

A quebra de produtividade (*yield gap*), é definida como a diferença entre diferentes tipos de produtividade para uma condição específica de cultivo, que tem a função de identificar as possíveis causas da redução da produtividade. Assim, dependendo do tipo de produtividade considerado, pode-se definir as principais causas da quebra de produtividade. Quando a quebra é obtida pela diferença entre PP e PRm, denomina-se quebra total, a qual sofre influência dos fatores limitantes e redutores (SENTELHAS et al., 2016).

A quebra de produtividade das lavouras em condições de sequeiro é obtida pela diferença entre PP e PA, demonstrando apenas o efeito do déficit hídrico na produtividade, porém, já a diferença entre PA e PR, define a quebra de produtividade devido ao manejo agrícola da cultura, considerando que, nessas condições, a máxima produtividade que poderá ser atingida é a PA (ITTERSUM et al., 2013).

Além das definições de produtividade potencial, atingível e real, abordados na Figura 2, existem também outros termos similares, como potencial de rendimento, rendimento potencial, rendimento de experimentos e rendimento máximo e médio obtido pelo produtor (Figura 3).

Figura 3. Categorias de rendimento em agricultura e suas variações. Fonte: Cunha et al., (2011).

De acordo com Pereira et al. (2002), o déficit hídrico ocorre quando a evapotranspiração real é menor que a evapotranspiração da cultura. Quanto maior for o déficit hídrico, maior será o efeito deste sobre a redução da produtividade. Esse efeito do déficit hídrico sobre a produtividade é expresso por meio de um fator de sensibilidade ao déficit hídrico (K_y), o qual é função do estágio de desenvolvimento da cultura.

Segundo Caviglione et al. (2000), mencionam que o conhecimento da água perdida por evapotranspiração é fundamental para se conhecer o balanço hídrico de uma certa região. A partir da disponibilidade hídrica, pode-se então determinar se essa região é indicada para o cultivo de determinada espécie vegetal ou se é necessário o uso de irrigação. Com base na quantidade de evapotranspiração pode-se também dimensionar sistemas de irrigação.

2.1.5. Modelos para estimação de produtividade

Os modelos são uma representação simplificada de um sistema real, assumem diferentes graus de complexidade na simulação do sistema, dependendo dos objetivos a serem atingidos. Sua utilidade, não é apenas reproduzir a realidade, a não ser que as simplifiquem e permitam que os processos mais importantes sejam identificados e previstos (DOORENBOS; KASSAM, 1979; STEDUTO, 2006).

Para estabelecer uma relação entre a planta e o clima são utilizados diferentes métodos que variam desde uma simples correlação até modelos complexos determinados por funções de produção que podem considerar diversos fatores envolvidos no sistema produtivo

(PICINI et al., 1999). Porém, devido ao grande número de variáveis que influenciam na produtividade das culturas agrícolas, considerando a quantidade e qualidade do produto, a produtividade pode ser expressa em função de apenas um fator, deixando aos outros parâmetros fixos em nível ótimo de produção (FRIZZONE et al., 2005).

Os modelos de crescimento e desenvolvimento de plantas devem ser elaborados para fornecer uma base para planejar e gerenciar a produção de culturas, além de ter o potencial de ajudar a compreender as interações básicas no sistema solo-planta-atmosfera (DOURADO-NETO et al., 1998). Na agricultura, a simulação é importante para prever os resultados de um determinado gerenciamento do sistema ou de uma determinada condição ambiental (WU et al., 1996).

Rimmington e Charles-Edwards (1987), indicam que os modelos matemáticos fornecem às ciências agrárias diferentes utilidades, que podem ser enumerados a seguir:

1. Análise das respostas observadas no crescimento da planta em função de certos fatores, para aumentar a nossa compreensão do crescimento da cultura e fornecer orientação em nossa pesquisa;
2. Simulação do crescimento da planta por modelos que consistem em muitos componentes e níveis de interação, como uma ajuda para o ensino e a aprendizagem;
3. Previsão da resposta das plantas de determinadas condições climáticas ou de gestão, como ferramenta de gerenciamento e tomada de decisão.

2.1.5.1. Modelo da Zona Agroecológica – MZA

O modelo da Zona Agroecológica - FAO, desenvolvido por Kassam (1977), relaciona a queda relativa de rendimento ($1 - PR/PP$) com o déficit relativo de evapotranspiração ($1 - E_{Tr}/E_{Tc}$), sendo PR a produtividade real, PP a produtividade potencial, E_{Tr} a evapotranspiração real e E_{Tc} a evapotranspiração máxima da cultura. O efeito do déficit hídrico sobre o rendimento de uma cultura hipotética é feito para quatro fases fenológicas, no desenvolvimento vegetativo (1) e na maturação (4), a queda de rendimento devido ao déficit hídrico é relativamente pequena se comparada às fases de floração (2) e frutificação (3).

Esse método, tem por base a proposição de De Wit (1965) para estimativa da produtividade bruta de matéria seca por uma cultura padrão, que hipoteticamente cobre todo o terreno, utilizando-se a radiação solar local como único fator de restrição, porém, quando

adaptado a culturas agrícolas, torna-se necessário introduzir correções para os processos de crescimento específico, que estão sob controle genético, e que dependem também de outros elementos do clima.

Na Figura 4 é apresentada o total de matéria seca (MS) bruta ($\text{kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$) gerada a partir do MZA pelas plantas de tipo C3 de verão, característica da cultura da soja, para os dias com céu nublado (a) e céu claro (b) em função das variáveis meteorológicas como temperatura média do ar e radiação global extraterrestre (Q_0).

Figura 4. Matéria seca (MS) bruta acumulada por plantas C3 de verão com base no modelo da Zona Agroecológica – FAO para diferentes condições de temperatura do ar e radiação solar extraterrestre (Q_0), em dia de céu nublado (a) e claro (b). Fonte: Battisti (2013).

Sentelhas et al. (2015), determinaram para as condições brasileiras os diferentes níveis de quebra de produtividade para a cultura de soja por meio de um modelo de simulação calibrado com base nos dados de ensaios de competição de cultivares realizados por Battisti e Sentelhas (2015), onde os resultados mostram que as quebras de produtividade em diferentes regiões produtoras do Brasil, variam consideravelmente e que grande parte delas é oriunda do déficit hídrico (73,8%), enquanto o manejo inadequado da cultura representa apenas 26,2% da quebra geral de produtividade.

2.1.6. Déficit hídrico e sua influência nos parâmetros produtivos

A seguinte fase depois da obtenção da produtividade potencial da cultura, é a análise da relação entre a disponibilidade hídrica e a produtividade real ou atingível da cultura (DOORENBOS; KASSAM, 1979). Considera-se nessa etapa que, a partir da produtividade potencial, estimada pelo MZA, há perda relacionada à disponibilidade hídrica no solo durante o ciclo da cultura. A disponibilidade hídrica no solo é determinada em função da evapotranspiração real (ET_r) e a evapotranspiração máxima da cultura (ET_c). A ET_c acontece em condições de boa disponibilidade hídrica no solo sem o efeito de advecção de calor sensível, enquanto que a ET_r ocorre na cultura em diferentes condições de disponibilidade de água no solo, sendo que, devido a uma maior resistência à extração de água do solo, sob déficit hídrico, ET_r é menor que a ET_c.

Estimando a relação ET_r/ET_c, pode-se avaliar a intensidade do déficit hídrico advindo durante o ciclo e estimar a perda de produtividade, usando o coeficiente de sensibilidade ao déficit hídrico (K_y), a partir da eq. (1), proposta por Doorenbos e Kassam (1979).

$$[1-(PA/PP) = K_y[1-(ET_r/ET_c)] \quad (1)$$

em que: PA é a produtividade atingível; PP é a produtividade potencial; K_y é o coeficiente de sensibilidade ao déficit hídrico.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização

As áreas de estudo estão compreendidas em 9 localidades bem distribuídas no estado do Paraná, Brasil, contemplando os municípios de Campo Mourão, Cascavel, Irati, Joaquim Távora, Londrina, Nova Cantu, Pato Branco, Ponta Grossa e Umuarama (Figura 5) com suas respectivas coordenadas geográficas (Tabela 3).

Figura 5. Mapa de localização dos municípios avaliados do estado do Paraná.

Tabela 3. Locais utilizados no estudo com suas respectivas coordenadas geográficas (latitude e longitude), elevação (altitude) e número de anos da série histórica do clima.

Local	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Série (Anos)
Campo Mourão	-24,05	-52,37	615	56
Cascavel	-24,95	-53,45	786	56
Irati	-25,47	-50,65	826	56
Joaquim Távora	-23,49	-49,92	635	56
Londrina	-23,30	-51,16	606	56
Nova Cantu	-24,67	-52,56	494	56
Pato Branco	-26,22	-52,67	780	56
Ponta Grossa	-25,09	-50,15	878	56
Umuarama	-23,76	-53,32	458	56

3.2. Fases fenológicas da soja

No Brasil, como observado na Figura 6, apresenta para a região norte, grupo de maturidade X, incluindo cultivares tardias adaptadas a dias curtos, características das regiões tropicais, próximos da linha do Equador.

Nas regiões produtoras de soja do Brasil (Figura 6), são utilizadas cultivares que tem maior possibilidade de adaptação para cada local de cultivo, variando desde grupos de maturidade 5 (V) até a 9 (IX).

Figura 6. Distribuição dos grupos de maturidade relativa de cultivares de soja no Brasil, em função da latitude. Fonte: EMBRAPA (2011), adaptado de Alliprandini et al., (2009).

No caso do estado do Paraná, compreendido pelas macrorregiões sojícolas 1 e 2 (Figura 7), os grupos de maturidade para as cultivares utilizadas abarcam desde o 5 (V) até o 8 (VIII).

A duração em dias do ciclo da cultura da soja para o estado do Paraná, é classificada como precoce (até 115 dias), semiprecoce (116 a 125 dias), médio (126 a 137 dias), semitardio (138 a 150 dias) e tardio (mais de 150 dias) (EMBRAPA, 2011).

Figura 7. Macrorregiões sojícolas do Brasil e regiões edafoclimáticas. Fonte: Kaster e Farias (2011).

Tabela 4. Duração total do ciclo (dias), em função do grupo de maturidade e macrorregião de cultivo da soja, associada aos grupos de ciclo utilizados no zoneamento agrícola para a macrorregião Sul do Brasil.

Macrorregião	Ciclo Curto		Ciclo Médio		Ciclo Longo	
	GMR	NDM	GMR	NDM	GMR	NDM
Sul	≤6,3	≤130	6,4 a 7,4	131 a 145	≥7,5	≥146

¹Grupo de maturação relativa (Proposta por ALLIPRANDINI et al., 2009); ²Número de dias para a maturação.

Tabela 5. Duração em dias dos estádios fenológicos utilizados com diferentes ciclos de cultivo da cultura da soja.

Ciclo Total (Dias)	S-V2	V2-R1	R1-R5/R6	R6-R8
100	10	30	35	25
120	15	35	40	30
140	15	45	50	30

*S: semeadura; V2: folha desenvolvida no primeiro nó acima do unifoliolado; R1: início da floração; R5: legume contendo grãos com três mm em um dos quatro nós superiores; R6: legume contendo grãos completamente desenvolvidos em um dos quatro nós superiores e, R8: maturidade completa, segundo Fehr e Caviness (1977).

Fonte: Battisti (2013); Farias et al., (2001).

3.3. Caracterização edafoclimática do estado do Paraná

3.3.1. Clima da região

O estado do Paraná apresenta dois tipos de classificação climática segundo Köppen (Figura 8), baseado na vegetação, temperatura e pluviosidade. O primeiro é o clima subtropical (Cfa) onde a temperatura média no mês mais frio é inferior a 18 °C (mesotérmico) e no mês mais quente está acima de 22 °C, com verões quentes, geadas pouco frequentes e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, porém, sem estação seca definida, e o segundo é o clima temperado (Cfb), onde a temperatura média no mês mais frio é abaixo de 18 °C (mesotérmico) e no mês mais quente também abaixo de 22 °C, com verões frescos e sem estação seca definida (SANTA RITTA, 2010; APARECIDO et al., 2016).

O estado do Paraná, caracteriza-se por apresentar grande diversidade climática, de solos e relevo, que proporcionam ambientes favoráveis para o cultivo de um grande número de espécies vegetais. São observados diversos microclimas com regimes térmicos e pluviométricos ao longo do território paranaense, associados com variações de latitude e altitude. O estado se situa em uma região de transição climática, passando de um clima subtropical com invernos mais amenos ao norte para uma condição que se aproxima dos climas temperados ao sul, onde os invernos são mais severos e a estação de crescimento das plantas é mais bem definida (INSTITUTO AGRONÓMICO DO PARANÁ - IAPAR, 2017).

Figura 8. Classificação climática segundo Köppen para o estado do Paraná, Brasil. Fonte: Caviglione et al., (2000).

No estado do Paraná, as maiores faixas de precipitação média mensal (Figura 9) ocorrem nos meses de outubro a março, principalmente na região sudeste do estado, porém, no centro, norte e oeste do estado são observados apenas nos meses de dezembro e janeiro, e só em novembro para as regiões sul e sudoeste.

Escassos ou quase nulos são os registros pluviométricos nos meses de abril a agosto, abarcando uma grande área do estado, e sendo uma limitante climática para a produção agrícola.

As precipitações médias anuais no estado do Paraná, Brasil possuem uma faixa de 1.200 até 3.500 mm, sendo as regiões sudeste e sudoeste as que tem um regime pluviométrico mais elevado.

Figura 9. Carta climática de precipitação mensal para o estado do Paraná, Brasil. Fonte: Caviglione et al., (2000).

Na Figura 10, observa-se que nos meses de novembro a março foram registradas as maiores temperaturas, principalmente nas regiões norte, sudoeste e parte do centro, com valores médios de até 27 °C.

Temperaturas médias de até 11 °C foram observadas no sul do estado, enquanto que para as regiões centro, sudoeste e sudeste tiveram faixas de 14 a 17 °C nos meses de maio a setembro.

As temperaturas médias anuais no estado do Paraná vão desde os 15 até os 24 °C, onde a região mais quente encontra-se no noroeste e a mais fria no sul.

Figura 10. Carta climática de temperatura mensal para o estado do Paraná, Brasil. Fonte: Caviglione et al., (2000).

Podem-se observar na Figura 11 que as maiores taxas de evapotranspiração das culturas agrícolas vão desde o mês de outubro até março, especialmente nas regiões norte, oeste e sudoeste, com valores entre 4,5 e 5 mm dia⁻¹. Porém, existe uma baixa taxa de evapotranspiração nos meses de junho e julho para quase todo o estado com valores médios de 1 a 2 mm dia⁻¹, aumentando novamente desde o mês de agosto.

No estado do Paraná foram registrados valores médios anuais de evapotranspiração que vão desde 700 mm (2 mm dia⁻¹) para a região sudeste a 1600 mm (5 mm dia⁻¹) para o norte.

Tabela 6. Ocorrência de classes de solo em nível de ordem no Estado do Paraná.

1º Nível - Ordem	Área (km²)	Área total (%)
Argissolos	31.013,71	15,53
Cambissolos	21.216,77	10,63
Chernossolos	90,47	0,05
Espodossolos	832,12	0,42
Gleissolos	2.331,23	1,17
Latossolos	61.406,59	30,76
Neossolos	44.365,96	22,22
Nitossolos	30.300,09	15,18
Organossolos	996,83	0,50
Afloramentos de rocha	1.649,48	0,83
Espelhos de água, áreas urbanas	5.455,18	2,73
Área total	199.658,43	100,00

Fonte: BARGE et al. (2008).

3.4. Dados meteorológicos

Os dados meteorológicos empregados neste estudo foram temperatura máxima e mínima do ar, insolação solar e precipitação pluvial, todos na escala diária para os locais em estudo. Os dados meteorológicos foram fornecidos por diferentes órgãos de pesquisa como o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR), Agência Nacional de Águas (ANA) e o Sistema de Monitoramento Agrometeorológico (Agritempo).

Para a insolação (n), Battisti (2013), verificou que os dados provenientes de estações próximas às localidades em estudo, com no máximo 150 km de distância, representam adequadamente esta variável. Para os períodos de indisponibilidade de dados de insolação, foram adotadas estimativas desse parâmetro pela associação de dois métodos de cálculo de radiação solar, apresentadas a seguir:

1. Angström-Prescott e Hargreaves & Samani (1982), resultando em uma equação de insolação em função das temperaturas máxima e mínima do ar e do fotoperíodo (N, em relação aos coeficientes “a” e “b” para os diferentes locais de cultivo apresentados na Tabela 7).

$$Q_g = Q_o * (a + b * n/N) \quad (2)$$

$$Q_g = 0,16 * (T_{\max} - T_{\min})^{0,5} * Q_o \quad (3)$$

2. Hargreaves e Samani (1982) e Glover e McCulloch (1958), derivando em uma equação em função das temperaturas máxima e mínima do ar, da latitude local (Φ) e do fotoperíodo (N).

$$Q_g = 0,16 * (T_{\max} - T_{\min})^{0,5} * Q_o \quad (3)$$

$$Q_g = Q_o * (0,29 \cos\Phi + 0,52 * n/N) \quad (4)$$

A irradiância solar global extraterrestre (Q_o) e o fotoperíodo (N) foram estimados a partir das eqs. (5) a (9), respectivamente:

$$Q_o = 37,6 (d/D)^2 * [\sin\Phi * \sin\delta * \ln(\pi/180) + \cos\Phi * \cos\delta * \sin hn] \quad (5)$$

$$\delta = 23,45 * \sin[360/365 * (NDA - 80)] \quad (6)$$

$$hn = \arcsin(-\tan\Phi * \tan\delta) \quad (7)$$

$$(d/D)^2 = 1 + 0,033 * \cos(360/365 * NDA) \quad (8)$$

$$N = (2 * hn)/15 \quad (9)$$

em que: d/D é a distância relativa Terra e Sol, Φ é a latitude local, δ é a declinação solar, hn é o ângulo horário do nascer do sol e NDA é o dia juliano, compreendido entre 1 e 366.

Tabela 7. Coeficientes de Angström-Prescott para a estimativa da irradiância solar global incidente.

Local	a	b	Local	a	b
Campo Mourão ¹	0,21 ²	0,39 ²	Nova Cantu ³	0,17 ⁹	0,39 ⁹
Cascavel ³	0,17	0,39	Pato Branco ³	0,17 ¹⁰	0,39 ¹⁰
Irati ⁴	0,22 ⁵	0,55 ⁵	Ponta Grossa ⁴	0,22	0,55
Joaquim Távora ⁶	0,19 ⁷	0,41 ⁷	Umuarama ¹	0,21 ¹¹	0,39 ¹¹
Londrina ⁶	0,19 ⁸	0,41 ⁸			

¹Obtidos por Dallacort et al. (2004). ²Referente à localidade de Palotina, PR, distante 150 km. ³Obtidos por Valiati e Ricieri (2005). ⁴Obtidos em Lech et al. (2009). ⁵Referente à localidade de Ponta Grossa, PR, distante 65 km. ⁶Obtidos por Jerszurki e Souza (2013). ⁷Referente à localidade de Telêmaco Borba, PR, distante 120 km. ⁸Referente à localidade de Telêmaco Borba, PR, distante 130 km. ⁹Referente à localidade de Cascavel, PR, distante 100 km. ¹⁰Referente à localidade de Cascavel, PR, distante 160 km. ¹¹Referente à localidade de Palotina, PR, distante 80 km.

Para estimar a temperatura média (T) diária, utilizou-se a eq. (10):

$$T = (T_{\max} + T_{\min})/2 \quad (10)$$

em que: $T_{\max}$ é a temperatura máxima diária e $T_{\min}$ é a temperatura mínima diária, ambas em °C.

3.5. Estimativa de produtividade

3.5.1. Produtividade potencial

Na estimativa da produtividade potencial (PP) da cultura da soja utilizou-se o modelo da Zona Agroecológica – FAO, com as variáveis de entrada de irradiância solar global extraterrestre (Q_o), temperatura do ar (T), insolação (n), fotoperíodo (N), índice de área foliar máximo ($IAF_{\max}$), taxa de respiração (R), índice de colheita (C), umidade da parte colhida ($U\%$) e o ciclo da cultura (ND). A equação geral da PP é dada pela eq. (11):

$$PP = (PPB_p * C_{IAF} * C_R * C_C * ND) / (1 - 0,01 * U\%) \quad (11)$$

em que: PPB_p ($\text{kg MS ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$) é a produtividade bruta de matéria seca para uma cultura padrão com $IAF_{\max} = 5$.

A PPB_p foi estimada para o período do dia de céu limpo (PPB_c) e de céu nublado (PPB_n), a partir das eq. (12) e (13), respectivamente, em que a relação da parte do dia nublado e claro é dado pelos valores de insolação e fotoperíodo.

$$PPB_c = (107,2 + 8,604 * Q_o) * cTc * n/N \quad (12)$$

$$PPB_n = (31,7 + 5,234 * Q_o) * cTn * (1 - n/N) \quad (13)$$

em que: cTc e cTn correspondem a um índice de correção da taxa fotossintética em função da temperatura do ar. As correções para o efeito da temperatura (cTc e cTn) dependem do tipo de metabolismos fotossintético (C_3 , C_4 ou CAM) e do clima da região de origem da espécie. Para a cultura da soja, planta C_3 de verão, pertencente ao grupo II, seguem as seguintes condições.

T entre 16,5 e 37 °C

$$cTn = 0,583 + 0,014T + 0,0013T^2 - 0,000037T^3 \quad (14)$$

$$cTc = -0,0425 + 0,035T + 0,00325T^2 - 0,0000925T^3 \quad (15)$$

T < 16,5 °C ou T > 37 °C

$$cTn = -0,0425 + 0,035 T + 0,00325 T^2 - 0,0000925 T^3 \quad (16)$$

$$cTc = -1,085 + 0,07 T + 0,0065 T^2 - 0,000185 T^3 \quad (17)$$

em que: T é a temperatura média do ar, em °C.

A PPB_p é obtida pela somatória da PPB_n e PPB_c em cada dia. O valor de PPB_p é em seguida corrigido pelos índices para a obtenção da PP que são o índice de correção para o índice de área foliar (C_{IAF}); correção para a taxa de respiração (C_R); correção para índice de colheita (C_C); e correção da umidade da parte colhida (U%), os quais são apresentados a seguir.

Correção para índice de área foliar (C_{IAF}): devido à variação ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura, a relação com a máxima interceptação de radiação solar, as épocas de semeadura e os locais de cultivo, os valores de IAF foram ajustados com base no trabalho realizado por Battisti (2013).

Através de medidas lineares das folhas, principal órgão fotossintetizante nas plantas, pode-se estimar a área foliar (Richter et al., 2014), sendo que a partir das informações de índice de área foliar máximo (IAF_{max}) e a duração do período vegetativo, Battisti (2013), gerou a regressão linear com significância ao nível de 1% apresentada na Figura 12., podendo ser utilizada para estimativa do IAF_{max} a partir da duração do período vegetativo, compreendido entre a emergência das plantas (VE) e o início da floração (R1).

Para cada ciclo de cultivo, foi obtido o IAF_{max} em função da duração do período vegetativo, pela eq. (18).

$$IAF_{max} = 0,0851 * PV + 0,6598 \quad (18)$$

em que: PV é a duração do período vegetativo em dias, definido desde a emergência das plantas (VE) até o início de floração (R1).

Figura 12. Relação entre a duração do período de desenvolvimento vegetativo (VE-R1) em dias e o índice de área foliar máximo (IAF_{max}) para a cultura da soja. Fonte: Battisti (2013), adaptado de Rodrigues et al., (2006).

Com o IAF_{max}, realizou-se a correção na PPB_p pelas eqs. (19) e (20), gerando um coeficiente compreendido entre 0 a 0,5:

$$C_{IAF} = 0,0093 + 0,185 * IAF_{max} - 0,0175 IAF_{max}^2 \text{ (Para } IAF_{max} < 5,0) \quad (19)$$

$$C_{IAF} = 0,5 \text{ (Para } IAF_{max} \geq 5,0) \quad (20)$$

em que: C_{IAF} é a correção para o índice de área foliar máximo da cultura.

Correção para taxa de respiração (C_R): durante a fotossíntese e o crescimento, parte dos carboidratos são consumidos no processo de fotorrespiração, e parte na manutenção dos tecidos (respiração de manutenção). Esse consumo é fortemente dependente da temperatura ambiente, havendo relação direta entre temperatura e respiração. Assim, é necessário considerar-se esse efeito na estimativa, introduzindo-se o fator de correção C_R, com os seguintes valores:

$$C_R = 0,6 \text{ para } T < 20^\circ\text{C} \quad (21)$$

$$C_R = 0,5 \text{ para } T \geq 20^\circ\text{C} \quad (22)$$

Correção para índice de colheita (C_C): este parâmetro, que varia em função do local de cultivo, da época de semeadura e cultivares, faz referência à parte colhida de interesse (grãos) em base a total de matéria seca total produzida ao final do ciclo pela cultura. Os valores de C_C

precisam serem calibrados devido as variáveis anteriormente mencionadas. Para isso, empregando trabalhos realizados por Braga e Costa (1983); Doorenbos e Kassam (1994) e Battisti (2013), onde estabelecem valores calibrados de Cc de 0,30 a 0,40 para a cultura da soja, sendo este último valor utilizado na simulação de produtividade.

Umidade da parte colhida (U%): esta variável adiciona o valor residual de umidade na parte colhida da cultura, já que o valor de PPB_p é dado em matéria seca total. Para este índice adotou-se o valor de 13%, normalmente utilizado a campo para correções de umidade residual nos grãos da cultura da soja.

Após a correção da PPB_p pelos índices apresentados, obteve-se o valor de PP estimada na escala diária. Para se obter o valor total de PP para o ciclo da cultura, somaram-se os valores diários de PP, incluindo o fator respectivo ao número de dias do ciclo de produção (ND), período este compreendido entre a emergência e a maturação fisiológica da cultura.

A partir dos resultados da produtividade potencial (PP) obtidos para cada local, época de semeadura e ciclo da cultura da soja, foi realizada uma análise probabilística, considerando o percentual de se obter valores médios de PP nas faixas de 3000 a 8000 kg ha⁻¹.

3.5.1.1. Data de semeadura ótima em função da produtividade potencial

Para definição da melhor época de semeadura de soja com base na produtividade potencial, utilizou-se o seguinte modelo:

$$PP = a. J^2 + b. J + c \quad (23)$$

em que: PP se refere à produtividade potencial (kg ha⁻¹), J ao dia juliano e; a, b e c aos parâmetros empíricos (kg ha⁻¹) determinados por intermédio de análise de regressão.

Sendo assim, para determinação da data ótima de semeadura (J_o), tem-se que:

$$J_o = - b/2a \quad (24)$$

3.5.2. Produtividade atingível

Para estimar a produtividade atingível (PA, kg MS ha⁻¹), referindo-se ao valor simulado nas diferentes datas de semeadura e localidades, na fase de determinação das épocas preferenciais de semeadura, considerou-se a penalização da produtividade potencial (PP) pelo coeficiente de sensibilidade ao déficit hídrico (Ky), determinado através da eq. (25).

$$PA = [1 - Ky * (1 - ETr/ETc)] * PP \quad (25)$$

em que: ETr é a evapotranspiração real e ETc é a evapotranspiração da cultura, ambos medidos em mm dia⁻¹.

Para cada fase de desenvolvimento da cultura da soja foi realizada a penalização pelo déficit hídrico, compreendendo o estabelecimento, definido entre a semeadura e folhas unifolioladas (S-V1), desenvolvimento vegetativo, compreendido entre a primeira folha trifoliolada completamente aberta e o início do florescimento (V2-R1), floração/enchimento de grãos, abrangendo o início da floração e fim do enchimento de grãos (R2-R5) e maturação, abrangendo os grãos completamente cheios e a maturação fisiológica (R6-R8).

Os valores médios do Ky utilizados para as diferentes fases de desenvolvimento da cultura da soja e calibrados para a região em base a diferentes grupos de tolerância ao déficit hídrico, foram obtidos em Battisti (2013), com valores de 0,06; 0,20; 0,89 e 0,08 para os estádios de S-V2, V2-R1, R1-R5 e R6-R8.

Para obter a evapotranspiração relativa (ETr/ETc), utilizada na penalização da produtividade devido a déficit hídrico, estimou-se primeiramente a ETc por meio da evapotranspiração de referência (ETo) e posteriormente foi multiplicada pelo coeficiente da cultura (Kc) na escala diária. Os valores de Kc empregados e, que melhor expressaram o consumo hídrico em cada fase fenológica da cultura foram obtidos em Farias et al., (2001), sendo adaptados dos trabalhos de Berlato et al., (1986) e Doorenbos e Kassam (1979), onde os valores para as fases S-V2, V2-R1, R1-R5/R6 e R6-R8 são 0,56; 1,21; 1,50 e 0,90, respectivamente.

A ETr foi obtida através da metodologia do balanço hídrico climatológico sequencial na escala diária de Thornthwaite e Mather (1995) para as condições da cultura, sendo apresentadas a seguir as etapas realizadas:

- 1º - Precipitação fluvial menos evapotranspiração da cultura ($P-ET_c$);
- 2º - Cálculo do negativo acumulado (NAC) e do armazenamento (ARM) simultaneamente. Se $(P-ET_c) < 0$, calcula-se o ARM, em que $ARM_i = ARM_{i-1} + (P-ET_c)$, e em seguida o NAC, em que $NAC_i = CAD * \ln(ARM/CAD)$;
- 3º - Alteração do armazenamento (ALT), em que $ALT = ARM_i - ARM_{i-1}$;
- 4º - Cálculo da evapotranspiração real (ET_r), em que $(P-ET_c) \geq 0$, $ET_r = ET_c$, ou se $(P-ET_c) < 0$, $ET_r = P + |ALT|$;
- 5º - Cálculo da deficiência hídrica (DEF), em que o $DEF = ET_c - ET_r$;
- 6º - Cálculo do excedente hídrico (EXC), em que se $ARM < CAD$ o excedente é igual a zero, ou se $ARM = CAD$, o $EXC = (P-ET_c) - ALT$.

Para a realização do balanço hídrico sequencial, foram considerados cinco tipos de solos, cujas reservas úteis de água (CAD) foram de 25, 50, 75, 100 e 125 mm, respectivamente.

Diversos autores têm verificado que o maior volume de raízes de soja estão próximo a uma profundidade de 0,5 m, em diferentes condições como, sistemas de produção (SALTON; TOMAZI, 2014), déficit hídrico (FARIAS et al., 2001), compactação do solos (CARDOSO et al., 2006), preparo e correção do solo (CAIRES et al., 2001) e adubos verdes e plantas de cobertura (RODRIGUES et al., 2006), porém, esses valores podem também variar em função da disponibilidade hídrica e a seleção de cultivares com diferentes características do sistema radicular (FRANCHINI et al., 2009), fatores que geram diferenças nos níveis de tolerância ao déficit hídrico e que afetam diretamente a produtividade em condições limitantes da cultura (BATTISTI; SENTELHAS, 2015).

3.5.2.1. Data de semeadura ótima em função da produtividade atingível

Para definição da melhor época de semeadura de soja com base na produtividade atingível, utilizou-se o seguinte modelo:

$$PP = a. J^2 + b. J + c \quad (23)$$

em que: J é o dia juliano e; a, b e c aos parâmetros empíricos (kg ha^{-1}) determinados por intermédio de análise de regressão.

Sendo assim, para determinação do dia ótimo de semeadura (J_o), tem-se que:

$$J_o = - b/2a \quad (24)$$

3.5.3. Produtividade real

Históricos de produtividade real (PR, kg ha^{-1}) média anual por localidade em estudo (Tabela 8) foram obtidos da base de dados SIDRA do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

A produtividade real é a média do rendimento (kg ha^{-1}) de uma cultura no campo, podendo ser em escala municipal ou regional, em determinada safra ou média delas. É o resultado das condições climáticas, de solo, nível de tecnologia e manejo adotado pelo produtor, entre outros fatores de produção.

Na Figura 13 pode-se observar a variação média no rendimento (kg ha^{-1}) no período de 1997 a 2016 (20 anos) e entre as localidades (9) em estudo. Dentre as médias de produtividade para o período avaliado (Tabela 8), o município de Ponta Grossa foi que apresentou o maior valor, enquanto que Joaquim Távora produziu o rendimento mais baixo.

Figura 13. Histórico de produtividade (kg ha^{-1}) da cultura de soja no período de 1997 a 2016 (20 anos) nos diferentes municípios do estado do Paraná em estudo. Fonte: IBGE (2018).

Tabela 8. Histórico de produtividade (kg ha^{-1}) da cultura de soja no período de 1997 a 2016 (20 anos) nos diferentes municípios do estado do Paraná em estudo. Fonte: IBGE (2018).

Ano/ Safr	Local								
	Campo Mourão	Cascavel	Irati	Joaquim Távora	Londrina	Nova Cantu	Pato Branco	Ponta Grossa	Umuarama
1997/98	2566	2568	2647	2103	2496	2355	2782	2704	2743
1998/99	2685	2761	2467	1500	2523	2500	2794	2855	2124
1999/00	2818	2992	2669	2400	2713	2500	2394	2793	2568
2000/01	2690	2682	2690	1900	2251	2620	2601	2935	2258
2001/02	3046	3176	2775	2508	2910	3100	2711	3148	3208
2002/03	2998	2980	2800	2500	2782	3100	2569	3071	3008
2003/04	3069	3160	3178	2500	2900	3106	3039	3353	2904
2004/05	2893	2786	2607	2500	2773	2722	2416	3081	1912
2005/06	2430	2579	2320	1700	2207	2603	1438	2918	2230
2006/07	2554	2578	2558	2497	2314	2405	2125	2872	2196
2007/08	3356	3135	2812	2297	2817	2405	2802	3247	2917
2008/09	3015	3326	2679	3100	2916	3024	2721	3058	2551
2009/10	2306	2618	2419	2452	2536	3024	2632	2535	1877
2010/11	3137	3300	2976	3102	3054	3124	3110	3116	3036
2011/12	3366	3563	3194	3200	3356	3197	3413	3507	3077
2012/13	2555	2606	3068	3053	2764	2471	1734	3421	1652
2013/14	3362	3585	3012	3200	3159	3327	3116	3672	2828
2014/15	3122	3622	3109	1983	2478	3573	2897	3443	2798
2015/16	3368	3668	3209	3000	3238	3764	3116	3588	3089
2016/17	2927	3666	3058	2603	2398	3429	3107	3388	3077
Média	2913	3068	2812	2505	2729	2917	2676	3135	2603

Fonte: IBGE (2018).

3.6. Critérios para definição dos períodos favoráveis de semeadura

Os fatores considerados para definição das datas preferenciais de semeadura foram determinados pela temperatura máxima, mínima e ótima do ar e a evapotranspiração relativa para a fase de desenvolvimento.

- ▶ Temperatura máxima: foi definido como período inapto aquele em que há pelo menos um evento de temperatura do ar superior a 40°C durante o ciclo da cultura em pelo menos 20% dos anos. Farias et al. (2009), indicam que esse valor de temperatura, têm efeitos adversos na taxa de crescimento, provocando danos à floração e diminuindo a capacidade de retenção de vagens, além de provocar o tombamento fisiológico, diminuindo a população de plantas.
- ▶ Temperatura mínima: critérios similares foram adotados para os eventos de temperatura mínima do ar inferiores a 10°C, valor considerado impróprio, devido ao crescimento retardado ou nulo nas fases de estabelecimento, desenvolvimento vegetativo, floração e enchimento de grãos na cultura da soja (FARIAS et al., 2007).
- ▶ Evapotranspiração relativa para a fase de estabelecimento: as datas foram consideradas inaptas quando em mais de 50% dos anos a evapotranspiração relativa foi menor que 0,6. Esse valor foi adoptado em base do balanço hídrico das localidades e datas de semeadura recomendada pelo Zoneamento Agrícola de Risco Climático (BRASIL, 2017).
- ▶ Temperatura ótima do ar: se em pelo menos 90% dos dias do ciclo da cultura a temperatura do ar estiver entre 20 e 30°C, faixa considerada ótima para o crescimento e desenvolvimento da soja (Farias et al., 2009), o decêndio foi classificado como apto para semeadura. Se o desenvolvimento ocorresse em período com temperatura do ar fora do intervalo ideal, aqueles decêndios foram considerados marginais.

As épocas de semeadura foram classificadas como aptas e inaptas de acordo à associação dos fatores apresentados e definidas em base aos seguintes critérios:

- ▶ Apta: disponibilidade hídrica na fase da semeadura ($E_{Tr}/E_{Tc} > 0,60$ em 50% dos anos), sem episódios de temperaturas extremas do ar ($10^{\circ}\text{C} < T < 40^{\circ}\text{C}$) em mais de 80% dos anos e temperatura média do ar durante o ciclo de desenvolvimento da soja entre 20 e 30°C (considerada temperatura ótima de

crescimento) em 90% dos dias do ciclo, sendo todas as variáveis analisadas conjuntamente.

- Inapta: ocorrência de episódios extremos de temperatura do ar ($10\text{ }^{\circ}\text{C} < T < 40\text{ }^{\circ}\text{C}$) em mais de 20% dos anos e apresentar deficiência hídrica no período da semeadura ($ET_r/ET_c < 0,60$ em 50% dos anos).

As produtividades atingíveis, utilizadas para definir as datas favoráveis de semeadura, foram obtidas a partir das simulações das épocas de semeadura para a cultura da soja nos diferentes locais de estudo. Em seguida, estes foram comparados com as datas recomendadas pelo Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) para a cultura da soja, apresentado pelo Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) (BRASIL, 2018).

A partir dos resultados da produtividade atingível (PA) obtidos para cada local, época de semeadura, tipos de solo e ciclo da cultura da soja, foi realizada uma análise probabilística, considerando o percentual em que o valor da PA atingir valores de 2000 a 7000 kg ha^{-1} .

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Embora tenham sido analisadas algumas épocas de semeadura desconsiderando o período do vazio sanitário para a cultura da soja no estado do Paraná, compreendido entre o 10 de junho e 10 de setembro, o objetivo desses estudos nestes períodos basearam-se em demonstrar que, além de reduzir o inóculo do fungo *Phakopsora pachyrhizi* causante da ferrugem-asiática-da-soja, o potencial produtivo desta cultura é também reduzido por outros fatores, especialmente os climáticos, influenciando diretamente no crescimento e desenvolvimento da planta através da variação na data de semeadura.

As funções da escala temporal (diária e sazonal), definidos pelos movimentos da terra, gerando os dias e as estações do ano, respectivamente, fazem que os valores dos parâmetros de fotoperíodo e irradiância solar variem continuamente. Enquanto à escala espacial, associada à variação das condições meteorológicas no espaço e definidas pela latitude, altitude, massas de ar, topografia e exposição do terreno, tipo de cultura, sistema de produção e manejo, entre outros, são parâmetros essenciais na definição do macro, topo e microclima. Essas duas escalas influenciam na composição dos fatores climáticos, principalmente na precipitação e temperatura, que afetam diretamente o potencial produtivo de uma determinada cultura.

A produtividade das culturas e o potencial produtivo dos sistemas agrícolas são influenciados pelo clima, sendo o principal fator da variabilidade na produção de soja no Brasil, principalmente em sistemas produtivos não irrigados (SENTELHAS et al., 2015).

As épocas de semeadura devem ser definidas em função do ambiente, genética, fenologia e características de manejo da lavoura. Não há um calendário definido para épocas preferenciais de semeadura da soja, mas há um padrão de características climáticas que proporcionam maiores produtividades e/ou menores riscos de perdas. Uma maneira eficiente de atingir produtividades próximas ao potencial produtivo da cultura é através da modificação do ambiente por meio da época de semeadura, a fim proporcionar as melhores condições ambientais com as fases mais sensíveis do ciclo de desenvolvimento da soja (ZANON et al., 2018).

De maneira geral, o MAPA, através do ZARC para a cultura da soja, recomenda para o estado do Paraná semeaduras que têm início no dia 11 de setembro, podendo se prolongar até o 31 de dezembro, dependendo da localidade, tipos de solo, ciclo e grupo de maturidade da cultura.

4.1. Campo Mourão

O histórico de precipitação e temperaturas para o município de Campo Mourão apresentado na Figura 14, demonstra a variação média dessas variáveis ao longo do ano, onde principalmente são observadas quedas nos valores de chuva e temperatura entre os meses de julho e agosto, significando em períodos não favoráveis para semeadura da soja. A partir do terceiro decêndio do mês de setembro até finais do mês de fevereiro, os valores dos parâmetros anteriormente mencionados aumentam, favorecendo a disponibilidade hídrica e coincidindo nas faixas ideais de temperaturas para o desenvolvimento da cultura.

Figura 14. Variação sazonal da precipitação (mm) e temperaturas máxima, média e mínima do ar (°C) no período de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Campo Mourão, PR.

Em função das probabilidades obtidas, resultado das análises históricas climáticas nos períodos simulados (agosto a fevereiro), pode se observar que apenas no mês de agosto existe deficiência hídrica ($ET_r/ET_c < 0,60$) descartando a possibilidade de semeadura nesse mês, tendo também em consideração que para uma cultivar precoce de soja, a frequência de se obter temperaturas maiores a 40 °C no ciclo da cultura é nula, porém, entre os meses de agosto e setembro e fevereiro, existe uma elevada probabilidade de temperaturas abaixo de 10 °C, onde o crescimento da soja é quase inexistente. Enquanto ao período com maior favorabilidade, em função das temperaturas ótimas ($20 < T < 30$ °C) para o correto desenvolvimento da cultura, é demarcada uma faixa que começa no terceiro decêndio de outubro até o primeiro decêndio de janeiro. Para uma variedade de ciclo médio, são também

observadas escassas probabilidades de se obter temperaturas máximas extremas, mas sim de temperaturas mínimas que se apresentam desde o mês de agosto e setembro, além dos meses de janeiro e fevereiro. O período ideal para a semeadura da soja de ciclo médio inicia-se no segundo decêndio do mês de outubro e finaliza aproximadamente no segundo decêndio de dezembro, com faixas de temperaturas ideais para a cultura. Finalmente, para uma cultivar precoce, ao igual que as outras, não apresenta risco de sofrer temperaturas extremas elevadas ($T > 40\text{ }^{\circ}\text{C}$) no decorrer do ciclo, embora sim de temperaturas baixas que se observam no mês de agosto até o segundo decêndio de setembro e desde o terceiro decêndio de dezembro até o último decêndio de fevereiro. As épocas ótimas de semeadura da soja iniciam-se no terceiro decêndio de outubro e vai até o primeiro decêndio de dezembro, sabendo que depois desse período existirão condições desfavoráveis para o crescimento da cultura.

Tabela 9. Probabilidade (%) de se obter valores médios de temperatura (T) sob condições de $10 > T > 40\text{ }^{\circ}\text{C}$, $20 < T < 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ e dias com T ótima para cultivares de soja de ciclos precoce (100 dias), médio (120 dias) e tardio (140 dias) em função de 21 decêndios no período de agosto a fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Campo Mourão, PR.

Ciclo	Condição	Decêndio																				
		Ago			Set			Out			Nov			Dez			Jan			Fev		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
		%																				
Precoce	T>40 °C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	T<10 °C	100	100	98	96	82	64	46	30	16	11	7	5	5	11	23	41	50	77	91	96	98
	20°C<T<30 °C	0	2	2	9	16	46	61	77	88	100	100	100	100	100	96	86	68	30	4	0	0
	Dias com T ótima	61	68	73	78	83	88	91	94	95	97	98	98	98	98	97	95	91	85	78	70	63
Médio	T>40 °C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	T<10 °C	100	100	98	96	82	64	46	30	16	11	11	14	14	41	50	77	89	96	98	98	100
	20°C<T<30 °C	0	2	5	14	23	52	66	84	93	100	100	100	100	89	77	43	9	0	0	0	0
	Dias com T ótima	67	72	77	82	85	90	92	95	96	97	98	98	97	95	93	87	82	75	68	61	55
Tardio	T>40 °C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	T<10 °C	100	100	98	96	82	64	46	30	18	18	27	41	41	71	89	96	98	98	100	98	98
	20°C<T<30 °C	0	4	9	20	32	64	82	95	96	96	96	89	89	57	18	4	0	0	0	0	0
	Dias com T ótima	71	76	80	84	87	91	93	95	96	97	97	96	93	89	85	79	73	67	60	54	49

Os valores de produtividade potencial (PP, kg ha^{-1}) obtidos para o município de Campo Mourão são apresentados na Tabela 10, onde indica que para as cultivares de ciclo precoce, médio e tardio, os maiores rendimentos resultantes são obtidos nas datas de semeadura 30 de outubro, 20 de outubro e 20 de outubro com valores de 5275, 6587 e 7667 kg ha^{-1} , respectivamente, porém, segundo os parâmetros empíricos da melhor época de semeadura, apresentadas na Tabela 11, as maiores produtividades são obtidas nos dias 6 de novembro, 27 de outubro e 17 de outubro com valores de 5262, 6551 e 7614 kg ha^{-1} , respectivamente.

Figura 15. Produtividade potencial (PP) média da cultura da soja para cultivares de ciclos precoce (100 dias), médio (120 dias) e tardio (140 dias) em função de 21 datas de semeadura, no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Campo Mourão, PR.

Em base à relação PR/PR observada nesta localidade, existem perdas de 44,7; 55,7 e 62% para cultivares de ciclo precoce, médio e tardio, respectivamente.

Tabela 10. Produtividade potencial (PP) média da cultura da soja para cultivares de ciclos precoce (100 dias), médio (120 dias) e tardio (140 dias) em função de 21 datas de semeadura, no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Campo Mourão, PR.

Ciclo	Data de semeadura																				
	10-Ago	20-Ago	30-Ago	10-Set	20-Set	30-Set	10-Out	20-Out	30-Out	10-Nov	20-Nov	30-Nov	10-Dez	20-Dez	30-Dez	10-Jan	20-Jan	30-Jan	10-Fev	20-Fev	28-Fev
Precoce	4453	4633	4794	4943	5051	5144	5205	5259	5275	5263	5223	5178	5118	5041	4962	4842	4714	4553	4355	4174	4013
Médio	5805	5988	6144	6284	6393	6493	6556	6587	6574	6543	6488	6405	6311	6194	6067	5881	5695	5483	5213	4984	4812
Tardio	6977	7147	7295	7442	7552	7625	7654	7667	7645	7573	7484	7366	7225	7053	6869	6644	6398	6144	5870	5640	5470

Tabela 11. Parâmetros empíricos do modelo (a , b e c – kg ha^{-1}) de definição da melhor época de semeadura e data ótima de semeadura ($\text{dia juliano } J_o = -b/2a$) correspondente à produtividade potencial (PP, kg ha^{-1}) média máxima da cultura de soja, considerando diferentes cultivares de ciclos precoce (100 dias), médio (120 dias) e tardio (140 dias), em função de 21 datas de semeadura (J – dia juliano), no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Campo Mourão, PR.

Ciclo	a	b	c	R ²	Dia	Jo	PP
Precoce	-0,0984	61,141	-4235,5	0,9971	6 de novembro	310,7	5262
Médio	-0,1182	70,992	-4108,4	0,9980	27 de outubro	300,3	6551
Tardio	-0,1272	73,794	-3088,5	0,9943	17 de outubro	290,1	7614

Enquanto à probabilidade de se obter PP maior ou igual a determinados valores, em todas as cultivares e épocas de semeadura são obtidos rendimentos $\geq 3000 \text{ kg ha}^{-1}$. A cultivar precoce pode apresentar altas probabilidades de atingir $PP \geq 5000 \text{ kg ha}^{-1}$ se semeada apenas no 10 de outubro a 10 de novembro. Para um ciclo médio, as expectativas de obter valores $\geq 6000 \text{ kg ha}^{-1}$ se observam se a semeadura for só no período de 10 de setembro a 20 de dezembro. Finalmente, para uma cultivar tardia, semeando na faixa de 30 de agosto até 30 de novembro, existem elevadas possibilidades de chegar a produtividades $\geq 7000 \text{ kg ha}^{-1}$.

Tabela 12. Probabilidade (%) de se obter valores de produtividade potencial (PP) nas faixas de 3000 a 8000 kg ha⁻¹ e $\geq$ PP média, considerando diferentes cultivares de soja de ciclos precoce (100 dias), médio (120 dias) e tardio (140 dias), em função de 21 datas de semeadura (J – dia juliano), no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Campo Mourão, PR.

PP	Ciclo	Data de semeadura																				
		10-Ago	20-Ago	30-Ago	10-Set	20-Set	30-Set	10-Out	20-Out	30-Out	10-Nov	20-Nov	30-Nov	10-Dez	20-Dez	30-Dez	10-Jan	20-Jan	30-Jan	10-Fev	20-Fev	28-Fev
≥ 3000	Precoce	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Médio	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Tardío	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
≥ 4000	Precoce	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	96	80	59
	Médio	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Tardío	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
≥ 5000	Precoce	0	2	14	39	63	80	89	89	86	88	79	77	66	59	48	18	5	2	0	0	0
	Médio	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	96	80	52	18
	Tardío	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	96
≥ 6000	Precoce	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	25	46	79	88	96	100	98	100	98	98	98	96	95	82	70	23	4	2	0	0	0
	Tardío	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	95	75	36	9	0
≥ 7000	Precoce	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	0	0	0	2	2	5	5	7	5	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0
	Tardío	43	71	89	100	100	100	100	98	98	98	96	95	79	57	25	4	0	0	0	0	0
≥ 8000	Precoce	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Tardío	0	0	0	2	5	7	11	9	11	9	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\geq$ PP média	Precoce	48	46	54	48	54	54	46	50	54	57	52	52	46	48	52	50	55	55	55	61	54
	Médio	48	46	52	48	50	48	45	57	50	57	48	50	50	45	48	59	57	57	57	57	54
	Tardío	46	41	45	50	46	52	50	54	50	55	52	52	46	46	59	63	54	57	55	52	52

Os valores de produtividade atingível (PA, kg ha⁻¹) obtidos para o município de Campo Mourão são apresentados na Tabela 13, onde indica que para as cultivares de ciclo precoce, médio e tardio sob condições de diferentes valores de armazenamento de água no solo de 25, 50, 75, 100 e 125 mm, os maiores rendimentos resultantes em forma geral são obtidos nas datas de semeadura de 10 de novembro, 20 de outubro e 20 de outubro, respectivamente. Não obstante, os parâmetros empíricos da melhor época de semeadura, observados na Tabela 14, indicam que os maiores rendimentos sob essas condições são obtidos em forma geral nos dias 6 e 7 de novembro, 29 e 30 de outubro e 21 e 22 de outubro, para cultivares de ciclo precoce, médio e tardio, respectivamente.

Figura 16. Produtividade atingível (PA) média da cultura da soja para cultivares de ciclos precoce (100 dias), médio (120 dias) e tardio (140 dias) e CAD de 25, 50, 75, 100 e 125 mm em função de 21 datas de semeadura, no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Campo Mourão, PR.

Tabela 13. Produtividade atingível (PA) média da cultura da soja para cultivares de ciclos precoce (100 dias), médio (120 dias) e tardio (140 dias) e CAD de 25, 50, 75, 100 e 125 mm em função de 21 datas de semeadura, no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Campo Mourão, PR.

Data de semeadura	Ciclo														
	Precoces					Médio					Tardio				
	CAD					CAD					CAD				
	25	50	75	100	125	25	50	75	100	125	25	50	75	100	125
10-Ago	3469	3624	3720	3792	3850	4555	4754	4869	4954	5023	5278	5532	5674	5778	5863
20-Ago	3608	3773	3872	3946	4005	4655	4862	4981	5068	5140	5399	5645	5783	5887	5971
30-Ago	3693	3870	3971	4046	4107	4730	4937	5054	5144	5217	5527	5777	5913	6014	6095
10-Set	3759	3935	4037	4115	4179	4834	5035	5151	5239	5314	5655	5907	6051	6153	6235
20-Set	3820	3991	4093	4172	4240	4934	5138	5257	5345	5418	5793	6045	6188	6288	6369
30-Set	3912	4079	4181	4259	4325	5044	5253	5373	5459	5530	5940	6191	6331	6427	6501
10-Out	3983	4156	4258	4333	4394	5154	5361	5482	5566	5634	5973	6234	6383	6484	6561
20-Out	4079	4254	4357	4431	4491	5232	5441	5563	5647	5712	6006	6261	6412	6516	6596
30-Out	4133	4307	4411	4484	4542	5223	5433	5558	5645	5714	6008	6260	6408	6512	6592
10-Nov	4137	4311	4416	4492	4550	5215	5420	5544	5632	5700	5969	6212	6357	6461	6543
20-Nov	4112	4283	4389	4465	4524	5178	5380	5502	5591	5661	5870	6113	6258	6363	6448
30-Nov	4076	4248	4352	4430	4490	5106	5300	5420	5508	5580	5758	5993	6133	6234	6316
10-Dez	4028	4192	4295	4372	4434	5027	5218	5334	5419	5489	5625	5854	5992	6090	6171
20-Dez	3980	4138	4236	4308	4367	4900	5090	5206	5290	5359	5443	5667	5802	5900	5979
30-Dez	3897	4056	4155	4227	4286	4767	4955	5069	5153	5221	5254	5478	5610	5705	5783
10-Jan	3760	3919	4017	4089	4148	4560	4744	4859	4945	5014	5077	5288	5413	5506	5581
20-Jan	3611	3768	3868	3943	4004	4391	4566	4675	4760	4828	4941	5144	5261	5350	5424
30-Jan	3451	3598	3694	3770	3831	4236	4405	4509	4589	4656	4796	4995	5108	5191	5261
10-Fev	3299	3443	3534	3605	3665	4070	4238	4338	4414	4479	4669	4869	4978	5056	5119
20-Fev	3175	3320	3409	3478	3535	3962	4130	4228	4299	4357	4565	4763	4874	4951	5012
28-Fev	3103	3248	3336	3401	3454	3895	4059	4154	4224	4279	4488	4687	4796	4872	4932

Tabela 14. Parâmetros empíricos do modelo (a , b e c – kg ha^{-1}) de definição da melhor época de semeadura e data ótima de semeadura (dia juliano $J_o = -b/2a$) correspondente à produtividade atingível (PA, kg ha^{-1}) média máxima da cultura de soja, considerando diferentes cultivares de ciclos precoce (100 dias), médio (120 dias) e tardio (140 dias) e CAD de 25, 50, 75, 100 e 125 mm em função de 21 datas de semeadura (J – dia juliano), no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Campo Mourão, PR.

Ciclo	CAD	a	b	c	R ²	Dia	Jo	PA
Precoce	25	-0,0838	52,202	-4038,5	0,9815	7 de novembro	311,5	4091
Precoce	50	-0,0856	53,291	-4023,8	0,9822	7 de novembro	311,3	4270
Precoce	75	-0,0867	53,969	-4022,4	0,9826	7 de novembro	311,2	4376
Precoce	100	-0,0872	54,264	-3989,2	0,9841	7 de novembro	311,1	4453
Precoce	125	-0,0875	54,404	-3947,3	0,9858	6 de novembro	310,9	4509
Médio	25	-0,0983	59,649	-3893,0	0,9715	30 de outubro	303,4	5156
Médio	50	-0,1002	60,659	-3821,3	0,9715	29 de outubro	302,7	5359
Médio	75	-0,1018	61,627	-3841,4	0,9721	29 de outubro	302,7	5485
Médio	100	-0,1027	62,129	-3825,1	0,9738	29 de outubro	302,5	5571
Médio	125	-0,1032	62,407	-3791,9	0,9757	29 de outubro	302,4	5643
Tardio	25	-0,0998	59,071	-2857,3	0,9469	22 de outubro	295,9	5884
Tardio	50	-0,1017	59,998	-2715,3	0,9466	22 de outubro	295,0	6134
Tardio	75	-0,1039	61,220	-2742,1	0,9473	21 de outubro	294,6	6276
Tardio	100	-0,1053	61,995	-2746,7	0,9493	21 de outubro	294,4	6378
Tardio	125	-0,1062	62,520	-2736,1	0,9519	21 de outubro	294,4	6465

Em base à probabilidade de se obter valores de PA maiores ou iguais a determinados rendimentos, observa-se que para a cultivar precoce, em todas as épocas de semeadura e diferentes valores de armazenamento de água no solo, produtividades $\geq 3000 \text{ kg ha}^{-1}$ são obtidas. Embora, existem poucas probabilidades de atingir valores $\geq 4000 \text{ kg ha}^{-1}$ em solos com armazenamento de água inferior a 50 mm, foram observadas maiores probabilidades de alcançar esse valor em solos com maior capacidade de retenção hídrica, obtendo-se a partir das datas de semeadura do 20 de setembro a 30 de dezembro.

Tabela 15. Probabilidade (%) de se obter valores de produtividade atingível (PA) nas faixas de 2000 a 7000 kg ha⁻¹ e $\geq$ PA média, considerando uma cultivar de ciclo precoce (100 dias) e CAD de 25, 50, 75, 100 e 125 mm em função de 21 datas de semeadura (J – dia juliano), no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Campo Mourão, PR.

PA	Ciclo	CAD	Data de semeadura																				
			10-Ago	20-Ago	30-Ago	10-Set	20-Set	30-Set	10-Out	20-Out	30-Out	10-Nov	20-Nov	30-Nov	10-Dez	20-Dez	30-Dez	10-Jan	20-Jan	30-Jan	10-Fev	20-Fev	28-Fev
≥ 2000		25	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
≥ 3000			98	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	96	93	84	73
≥ 4000			0	4	7	14	25	32	45	61	70	70	68	71	48	48	32	16	2	0	0	0	0
≥ 5000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ 6000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			48	57	55	54	52	48	50	48	46	50	52	52	45	50	45	50	57	52	52	54	52
≥ 2000		50	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			98	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	88	88	
≥ 4000			4	16	29	39	46	68	73	79	84	89	86	82	77	73	52	38	16	4	2	0	0
≥ 5000			0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 6000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ PA média			52	61	57	52	46	54	52	48	46	46	46	48	46	52	46	50	57	54	48	54	59
≥ 2000		75	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	95	95	
≥ 4000			14	30	50	55	61	77	77	88	95	96	96	95	88	77	75	55	32	9	5	0	0
≥ 5000			0	0	0	0	0	0	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 6000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ PA média			54	59	59	54	46	50	54	55	52	46	48	50	46	52	48	54	54	52	50	54	57
≥ 2000		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	96	
≥ 4000			25	46	64	73	73	80	88	91	98	96	100	96	95	86	80	57	45	21	5	0	0
≥ 5000			0	0	0	0	0	0	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 6000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ PA média			52	57	59	54	50	52	54	54	50	46	46	50	48	52	50	54	54	52	52	54	57
≥ 2000		125	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	
≥ 4000			34	59	71	77	84	88	91	95	100	98	100	98	96	88	84	68	55	25	5	0	0
≥ 5000			0	0	0	0	0	0	2	2	5	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 6000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ PA média			52	57	59	54	50	52	55	55	48	45	46	48	50	50	50	50	55	48	52	54	55

Para uma cultivar de ciclo médio, também em todos os casos são obtidos valores de produtividade ≥ 3000 kg ha⁻¹. Além disso, existem elevadas probabilidades de alcançar valores ≥ 4000 kg ha⁻¹ em quase todas as épocas de semeadura, apenas observando-se limitantes a partir da data 30 de janeiro para solos com capacidades de armazenamento de água inferiores a 25 mm. Enquanto aos solos com maior retenção hídrica (≥ 75 mm) podem-se obter valores ≥ 5000 kg ha⁻¹ nos períodos de semeadura de 20 de setembro a 20 de dezembro.

Tabela 16. Probabilidade (%) de se obter valores de produtividade atingível (PA) nas faixas de 2000 a 7000 kg ha⁻¹ e $\geq$ PA média, considerando uma cultivar de ciclo médio (120 dias) e CAD de 25, 50, 75, 100 e 125 mm em função de 21 datas de semeadura (J – dia juliano), no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Campo Mourão, PR.

PA	Ciclo	CAD	Data de semeadura																					
			10-Ago	20-Ago	30-Ago	10-Set	20-Set	30-Set	10-Out	20-Out	30-Out	10-Nov	20-Nov	30-Nov	10-Dez	20-Dez	30-Dez	10-Jan	20-Jan	30-Jan	10-Fev	20-Fev	28-Fev	
≥ 2000	25		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 4000			95	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	91	75	66	43	32
≥ 5000			2	13	16	30	38	54	64	80	80	77	77	68	52	38	20	2	0	0	0	0	0	0
≥ 6000			0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			54	55	50	46	46	54	46	50	50	54	52	45	46	46	54	54	46	57	50	52	54	
≥ 2000	50		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 4000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	96	93	80	71	59	
≥ 5000			21	29	41	52	68	79	88	95	95	89	89	84	75	64	46	18	9	2	0	0	0	0
≥ 6000			0	0	0	0	0	2	2	4	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			54	54	50	48	52	54	52	50	52	48	54	46	52	50	54	52	48	52	52	55	57	
≥ 2000	Médio	75	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 4000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	98	86	82	75	
≥ 5000			36	50	57	64	75	84	91	98	98	98	95	91	86	70	61	39	11	4	0	0	0	0
≥ 6000			0	0	0	0	2	2	4	9	9	7	5	4	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			57	55	55	48	55	52	50	50	48	46	55	48	55	55	55	55	57	50	54	57	55	
≥ 2000	100		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 4000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	95	86	80	
≥ 5000			50	68	66	71	80	88	95	98	100	100	96	95	89	82	64	50	23	4	0	0	0	0
≥ 6000			0	0	0	0	4	4	5	13	18	18	9	7	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			59	52	55	50	48	52	48	46	46	48	55	46	54	57	54	54	55	52	50	54	54	
≥ 2000	125		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 4000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	96	96	89		
≥ 5000			61	73	77	86	89	93	98	98	100	100	98	95	91	84	79	55	30	16	2	0	0	0
≥ 6000			0	0	0	0	5	7	14	14	21	23	11	7	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			57	54	54	50	50	48	50	48	46	48	55	50	52	57	54	54	55	54	50	55	54	

Rendimentos ≥ 4000 kg ha⁻¹ são observados em todos os casos para uma cultivar de ciclo tardio. Para solos com capacidade de retenção de água ≤ 50 mm, existem limitantes para se obter valores ≥ 5000 kg ha⁻¹ a partir da data de 10 de janeiro, porém, para solos com maior disponibilidade hídrica começa apenas na data 30 de janeiro. Finalmente, produtividades superiores a 6000 kg ha⁻¹ são obtidas com elevadas probabilidades em solos com armazenamento ≥ 100 mm nas datas de semeadura de 30 de setembro a 20 de novembro.

Tabela 17. Probabilidade (%) de se obter valores de produtividade atingível (PA) nas faixas de 2000 a 7000 kg ha⁻¹ e $\geq$ PA média, considerando uma cultivar de ciclo tardio (140 dias) e CAD de 25, 50, 75, 100 e 125 mm em função de 21 datas de semeadura (J – dia juliano), no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Campo Mourão, PR.

PA	Ciclo	CAD	Data de semeadura																					
			10-Ago	20-Ago	30-Ago	10-Set	20-Set	30-Set	10-Out	20-Out	30-Out	10-Nov	20-Nov	30-Nov	10-Dez	20-Dez	30-Dez	10-Jan	20-Jan	30-Jan	10-Fev	20-Fev	28-Fev	
≥ 2000	Tardío	25	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 4000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 5000			80	91	96	98	100	100	100	100	100	100	100	100	98	96	93	75	63	38	25	13	4	0
≥ 6000			0	2	9	16	29	41	46	48	48	48	34	20	13	2	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			48	43	50	52	50	46	52	46	46	50	50	48	54	52	48	48	52	54	52	50	55	55
≥ 2000	Tardío	50	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 4000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 5000			93	96	98	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	95	73	68	48	32	16	7	
≥ 6000			11	16	25	36	54	71	77	73	77	68	63	50	39	16	5	0	0	0	0	0	0	0
≥ 7000			0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			50	46	46	48	50	45	48	45	46	50	54	50	52	55	54	50	48	52	54	52	61	61
≥ 2000	Tardío	75	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 4000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 5000			98	100	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	96	88	79	66	54	39	23	
≥ 6000			16	29	45	63	68	82	86	91	88	89	79	68	54	29	13	5	0	0	0	0	0	0
≥ 7000			0	0	0	2	2	4	2	7	4	4	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			48	48	50	54	50	48	48	45	46	46	50	52	54	57	54	57	52	50	57	54	57	57
≥ 2000	Tardío	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 4000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 5000			98	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	91	82	77	61	45	39	
≥ 6000			29	45	50	66	73	88	89	98	95	95	86	73	64	43	20	9	0	0	0	0	0	0
≥ 7000			0	0	0	2	4	5	9	9	11	7	2	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			54	50	50	57	48	45	50	45	50	50	48	54	54	57	52	54	52	48	55	55	55	55
≥ 2000	Tardío	125	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 4000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 5000			98	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	96	91	82	66	55	45	
≥ 6000			38	50	55	70	82	89	91	100	96	95	89	82	66	57	27	11	5	0	0	0	0	0
≥ 7000			0	0	0	2	5	7	11	14	18	11	5	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			55	52	50	52	50	45	52	45	48	50	48	54	55	57	52	54	52	48	54	55	57	57

4.2. Cascavel

Em base aos dados médios de temperaturas máxima, mínima e média e precipitações do município de Cascavel obtidos e apresentados na Figura 17, pode-se notar que existem períodos de temperaturas muito desfavoráveis para a cultura da soja como nos meses de julho e agosto, podendo atingir até 10 °C, valor em que o metabolismo para o crescimento da soja é diminuído. Além disso, a falta de disponibilidade hídrica no solo representa uma limitante na fase de estabelecimento da cultura, sendo aumentada só a partir no final do mês de setembro. Depois daqueles períodos desfavoráveis para a soja, outubro parece ser o mês mais favorável

para a cultura, coincidindo com temperaturas ideais (entre 20 e 30 °C) e boa disponibilidade hídrica para o correto estabelecimento e desenvolvimento das plantas. Para os meses subsequentes a temperatura ótima para a soja continua, porém, já sem o pico de precipitações observadas anteriormente.

Figura 17. Variação sazonal da precipitação (mm) e temperaturas máxima, média e mínima do ar (°C) no período de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Cascavel, PR.

Segundo as análises probabilísticas realizadas para o parâmetro de deficiência hídrica, ressalta-se novamente a indisponibilidade hídrica ($ET_r/ET_c < 0,60$) apenas no mês de agosto, para o período de simulação. Enquanto que para as condições climáticas extremas apresentadas anteriormente, não se observam temperaturas extremas elevadas (>40 °C) em nenhum dos decêndios estudados, porém existem altas probabilidades de se apresentarem temperaturas baixas (<10 °C) desde o mês de agosto até o segundo decêndio de setembro, sendo prejudiciais principalmente na fase de estabelecimento da cultura se semeados nessas datas. Para uma cultivar precoce, o risco de acontecer temperaturas baixas em alguma etapa do ciclo é observado a partir do início de fevereiro, porém, para uma cultivar de ciclo médio essa condição é observada nos começos do mesmo mês e, por último, para uma cultivar tardia, isso já acontece no segundo decêndio de dezembro.

Tabela 18. Probabilidade (%) de se obter valores médios de temperatura (T) sob condições de $10 > T > 40$ °C, $20 < T < 30$ °C e dias com T ótima para cultivares de soja de ciclos precoce (100 dias), médio (120 dias) e tardio (140 dias) em função de 21 decêndios no período de agosto a fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Cascavel, PR.

Ciclo	Condição	Decêndio																				
		Ago			Set			Out			Nov			Dez			Jan			Fev		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
		%																				
Precoce	$T > 40$ °C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$T < 10$ °C	100	100	100	96	86	71	59	48	39	25	16	14	14	18	30	57	70	84	89	98	100
	$20^{\circ}\text{C} < T < 30^{\circ}\text{C}$	0	0	0	2	2	7	29	45	57	73	88	93	93	89	84	59	32	5	0	0	0
	Dias com T ótima	47	53	59	65	71	77	82	87	90	93	95	96	96	95	93	90	85	77	69	61	54
Médio	$T > 40$ °C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$T < 10$ °C	100	100	100	96	88	71	59	48	41	25	18	23	23	57	68	84	88	98	100	100	100
	$20^{\circ}\text{C} < T < 30^{\circ}\text{C}$	0	0	0	2	4	16	36	52	66	79	88	89	89	70	50	13	2	0	0	0	0
	Dias com T ótima	54	59	65	71	75	81	85	89	91	93	95	95	94	91	87	81	75	67	60	52	47
Tardio	$T > 40$ °C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$T < 10$ °C	100	100	100	96	88	71	61	50	43	34	36	61	61	82	88	98	100	100	100	98	98
	$20^{\circ}\text{C} < T < 30^{\circ}\text{C}$	0	0	2	2	9	21	41	57	71	77	79	70	70	18	2	0	0	0	0	0	0
	Dias com T ótima	59	65	69	74	79	83	87	90	92	93	93	91	88	84	78	72	66	60	53	46	41

As produtividades potenciais (PP, kg ha⁻¹) resultantes para o município de Cascavel são apresentadas na Tabela 19, cujos maiores valores para as cultivares de ciclo precoce, médio e tardio são obtidos nas datas de semeadura de 10 de novembro, 20 de outubro e 20 de outubro com rendimentos de 5323, 6650 e 7747 kg ha⁻¹, respectivamente, porém, em base aos parâmetros empíricos da melhor época de semeadura, apresentadas na Tabela 20, as maiores produtividades são obtidas nos dias 6 de novembro, 27 de outubro e 16 de outubro com valores de 5315, 6627 e 7689 kg ha⁻¹, respectivamente.

Figura 18. Produtividade potencial (PP) média da cultura da soja para cultivares de ciclos precoce (100 dias), médio (120 dias) e tardio (140 dias) em função de 21 datas de semeadura, no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Cascavel, PR.

Tabela 19. Produtividade potencial (PP) média da cultura da soja para cultivares de ciclos precoce (100 dias), médio (120 dias) e tardio (140 dias) em função de 21 datas de semeadura, no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Cascavel, PR.

Ciclo	Data de semeadura																				
	10-Ago	20-Ago	30-Ago	10-Set	20-Set	30-Set	10-Out	20-Out	30-Out	10-Nov	20-Nov	30-Nov	10-Dez	20-Dez	30-Dez	10-Jan	20-Jan	30-Jan	10-Fev	20-Fev	28-Fev
Precoce	4392	4601	4783	4958	5089	5191	5261	5308	5321	5323	5284	5240	5170	5076	4974	4831	4676	4494	4273	4056	3866
Médio	5751	5972	6155	6328	6460	6564	6622	6650	6639	6615	6546	6453	6343	6206	6049	5839	5620	5381	5078	4808	4605
Tardio	6946	7166	7343	7512	7629	7709	7743	7747	7711	7632	7525	7391	7229	7036	6825	6563	6275	5989	5677	5402	5196

Em relação a PR/PP, foram observadas quebras de produtividade (PR/PP) de 42,3; 53,8 e 60,3% neste município para cultivares de ciclo precoce, médio e tardio, respectivamente.

Tabela 20. Parâmetros empíricos do modelo (a , b e c – kg ha^{-1}) de definição da melhor época de semeadura e data ótima de semeadura (dia juliano $J_o = -b/2a$) correspondente à produtividade potencial (PP, kg ha^{-1}) média máxima da cultura de soja, considerando diferentes cultivares de ciclos precoce (100 dias), médio (120 dias) e tardio (140 dias), em função de 21 datas de semeadura (J – dia juliano), no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Cascavel, PR.

Ciclo	a	b	c	R ²	Dia	Jo	PP
Precoce	-0,1144	70,973	-5692,3	0,9981	6 de novembro	310,2	5315
Médio	-0,1364	81,900	-5667,2	0,9980	27 de outubro	300,2	6627
Tardio	-0,1460	84,524	-4544,6	0,9946	16 de outubro	289,4	7689

Em função das probabilidades de se obter determinados valores de PP, em todos os ciclos da cultura e épocas de semeadura foram observados rendimentos $\geq 3000 \text{ kg ha}^{-1}$. No caso de uma cultivar precoce, para obter elevadas probabilidades de observar rendimentos $\geq 5000 \text{ kg ha}^{-1}$, a soja deve ser semeada a partir de 30 de setembro a 30 de novembro. Para o ciclo médio, as datas preferenciais de semeadura para obter produtividades $\geq 6000 \text{ kg ha}^{-1}$ devem produzir-se em 10 de setembro a 20 de dezembro. Enquanto para uma cultivar de ciclo tardio, podendo atingir valores $\geq 7000 \text{ kg ha}^{-1}$, as datas de semeadura devem iniciar-se a partir de 30 de agosto até 30 de novembro.

Tabela 21. Probabilidade (%) de se obter valores de produtividade potencial (PP) nas faixas de 3000 a 8000 kg ha⁻¹ e $\geq$ PP média, considerando diferentes cultivares de soja de ciclos precoce (100 dias), médio (120 dias) e tardio (140 dias), em função de 21 datas de semeadura (J – dia juliano), no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Cascavel, PR.

PP	Ciclo	Data de semeadura																				
		10-Ago	20-Ago	30-Ago	10-Set	20-Set	30-Set	10-Out	20-Out	30-Out	10-Nov	20-Nov	30-Nov	10-Dez	20-Dez	30-Dez	10-Jan	20-Jan	30-Jan	10-Fev	20-Fev	28-Fev
≥ 3000	Precoce	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Médio	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Tardío	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
≥ 4000	Precoce	96	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	100	100	100	100	100	91	59	25
	Médio	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Tardío	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
≥ 5000	Precoce	0	2	9	46	79	84	91	93	91	89	88	88	77	55	43	20	5	2	0	0	0
	Médio	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	100	100	100	100	100	95	59	21	5
	Tardío	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	93	73	73
≥ 6000	Precoce	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	7	52	77	89	93	96	98	98	98	98	98	95	93	80	55	23	5	2	0	0	0
	Tardío	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	80	48	11	4	0
≥ 7000	Precoce	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	0	0	4	7	9	11	11	13	9	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Tardío	50	77	91	95	98	98	98	98	98	98	98	95	77	52	21	5	0	0	0	0	0
≥ 8000	Precoce	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Tardío	0	0	2	5	13	14	18	20	18	13	9	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\geq$ PP média	Precoce	57	54	61	57	59	61	57	55	54	52	46	52	46	46	48	50	46	48	50	52	50
	Médio	55	61	64	61	61	59	59	57	54	54	48	46	46	46	48	46	48	50	52	52	50
	Tardío	57	61	61	57	59	57	54	50	46	52	50	50	46	46	48	46	46	50	59	54	50

Na Tabela 22, são proporcionados os valores de produtividade atingível (PA, kg ha⁻¹) obtidos no município de Cascavel em função de cultivares de ciclo precoce, médio e tardio sob diferentes níveis de armazenamento de água no solo (25, 50, 75, 100 e 125 mm). As maiores produtividades resultantes em forma geral para esses três diferentes ciclos foram observadas em 10 de novembro, 10 de novembro e 30 de outubro, respectivamente. Porém, segundo os parâmetros empíricos da melhor época de semeadura, apresentados na Tabela 23, pode-se observar que em forma geral os maiores rendimentos sob essas condições foram obtidos nos dias de semeadura de 1 a 3 de novembro para uma cultivar precoce, de 22 a 25 de outubro para um ciclo médio e de 13 a 18 de outubro para uma cultivar tardia.

Figura 19. Produtividade atingível (PA) média da cultura da soja para cultivares de ciclos precoce (100 dias), médio (120 dias) e tardio (140 dias) e CAD de 25, 50, 75, 100 e 125 mm em função de 21 datas de semeadura, no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Cascavel, PR.

Tabela 22. Produtividade atingível (PA) média da cultura da soja para cultivares de ciclos precoce (100 dias), médio (120 dias) e tardio (140 dias) e CAD de 25, 50, 75, 100 e 125 mm em função de 21 datas de semeadura, no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Cascavel, PR.

Data de semeadura	Ciclo														
	Precoce					Médio					Tardio				
	CAD					CAD					CAD				
	25	50	75	100	125	25	50	75	100	125	25	50	75	100	125
10-Ago	3559	3745	3849	3920	3973	4695	4933	5067	5154	5217	5470	5783	5960	6077	6164
20-Ago	3727	3925	4036	4109	4162	4820	5074	5217	5311	5380	5598	5907	6082	6200	6289
30-Ago	3840	4050	4168	4245	4301	4907	5163	5309	5408	5481	5697	6002	6172	6290	6381
10-Set	3910	4127	4251	4335	4397	4994	5245	5389	5488	5564	5788	6082	6247	6366	6458
20-Set	3962	4174	4298	4384	4449	5070	5312	5450	5550	5628	5871	6149	6307	6422	6514
30-Set	4031	4233	4350	4435	4501	5148	5380	5511	5608	5684	5957	6220	6371	6479	6567
10-Out	4081	4273	4384	4467	4532	5195	5415	5543	5637	5713	5990	6251	6400	6506	6591
20-Out	4121	4307	4416	4497	4562	5218	5429	5555	5646	5720	6009	6265	6417	6522	6605
30-Out	4116	4292	4400	4479	4544	5213	5419	5544	5636	5708	6006	6261	6411	6518	6601
10-Nov	4124	4294	4401	4480	4543	5224	5428	5553	5643	5714	6015	6267	6411	6514	6594
20-Nov	4114	4282	4387	4465	4527	5205	5414	5536	5625	5695	5938	6200	6347	6450	6531
30-Nov	4105	4280	4386	4463	4525	5173	5379	5498	5585	5653	5823	6080	6227	6331	6412
10-Dez	4085	4260	4363	4438	4498	5086	5298	5418	5504	5572	5695	5950	6092	6196	6277
20-Dez	4039	4213	4313	4386	4443	4955	5165	5284	5371	5439	5537	5786	5928	6031	6110
30-Dez	3934	4113	4214	4288	4346	4824	5030	5148	5234	5301	5351	5597	5739	5842	5921
10-Jan	3801	3972	4072	4146	4204	4621	4822	4942	5030	5098	5197	5430	5561	5657	5731
20-Jan	3651	3821	3923	3998	4057	4459	4650	4763	4849	4914	5037	5266	5392	5481	5549
30-Jan	3505	3665	3763	3838	3895	4326	4514	4621	4699	4758	4880	5102	5225	5308	5372
10-Fev	3368	3527	3621	3689	3742	4137	4324	4429	4502	4559	4719	4937	5054	5131	5189
20-Fev	3236	3395	3486	3551	3600	3988	4171	4271	4339	4390	4565	4778	4891	4966	5021
28-Fev	3125	3282	3370	3431	3477	3891	4067	4161	4224	4271	4447	4654	4764	4836	4889

Tabela 23. Parâmetros empíricos do modelo (a , b e c – kg ha^{-1}) de definição da melhor época de semeadura e data ótima de semeadura (dia juliano $J_o = -b/2a$) correspondente à produtividade atingível (PA, kg ha^{-1}) média máxima da cultura de soja, considerando diferentes cultivares de ciclos precoce (100 dias), médio (120 dias) e tardio (140 dias) e CAD de 25, 50, 75, 100 e 125 mm em função de 21 datas de semeadura (J – dia juliano), no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Cascavel, PR.

Ciclo	CAD	a	b	c	R ²	Dia	J _o	PA
Precoce	25	-0,0777	47,825	-3216,3	0,9915	3 de novembro	307,8	4143
Precoce	50	-0,0777	47,586	-2657,0	0,9904	2 de novembro	306,2	4629
Precoce	75	-0,0783	47,867	-2873,4	0,9905	1 de novembro	305,7	4442
Precoce	100	-0,0794	48,512	-2887,9	0,9912	1 de novembro	305,5	4522
Precoce	125	-0,0807	49,306	-2946,3	0,9920	1 de novembro	305,5	4585
Médio	25	-0,0912	54,518	-2932,4	0,9894	25 de outubro	298,9	5215
Médio	50	-0,0906	53,803	-2547,9	0,9907	23 de outubro	296,9	5440
Médio	75	-0,0910	53,854	-2397,8	0,9918	22 de outubro	295,9	5570
Médio	100	-0,0922	54,476	-2386,2	0,9929	22 de outubro	295,4	5661
Médio	125	-0,0936	55,292	-2429,8	0,9936	22 de outubro	295,4	5736
Tardio	25	-0,0947	55,236	-2098,4	0,9812	18 de outubro	291,6	5956
Tardio	50	-0,0939	54,281	-1615,7	0,9844	16 de outubro	289,0	6229
Tardio	75	-0,0942	54,169	-1404,0	0,9861	14 de outubro	287,5	6383
Tardio	100	-0,0952	54,597	-1334,2	0,9876	13 de outubro	286,7	6494
Tardio	125	-0,0963	55,187	-1319,3	0,9886	13 de outubro	286,5	6587

Na Tabela 24, pode-se observar que em função de uma cultivar precoce obtém-se elevadas probabilidades de rendimentos de $PA \geq 3000 \text{ kg ha}^{-1}$ em todas as épocas de semeadura e capacidades de armazenamento de água. Embora, as probabilidades de alcançar valores $\geq 4000 \text{ kg ha}^{-1}$ sejam muito baixas com disponibilidade hídrica no solo menor do que 25 mm, observa-se que em CAD de 125 mm, aquele valor pode ser atingido semeando a soja desde a data de 20 de agosto até 10 de janeiro.

Tabela 24. Probabilidade (%) de se obter valores de produtividade atingível (PA) nas faixas de 2000 a 7000 kg ha⁻¹ e $\geq$ PA média, considerando uma cultivar de ciclo precoce (100 dias) e CAD de 25, 50, 75, 100 e 125 mm em função de 21 datas de semeadura (J – dia juliano), no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Cascavel, PR.

PA	Ciclo	CAD	Data de semeadura																					
			10-Ago	20-Ago	30-Ago	10-Set	20-Set	30-Set	10-Out	20-Out	30-Out	10-Nov	20-Nov	30-Nov	10-Dez	20-Dez	30-Dez	10-Jan	20-Jan	30-Jan	10-Fev	20-Fev	28-Fev	
≥ 2000	Precoce	25	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	98	98	98	98	100	100	100	100	100	100	100	100	96	96	88	73
≥ 4000			0	4	16	32	39	64	68	73	75	70	71	70	63	55	39	20	7	2	0	0	0	0
≥ 5000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ 6000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			55	54	52	52	52	57	61	52	46	50	52	48	50	48	50	52	52	52	50	46	50	50
≥ 2000	Precoce	50	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	98	98	98	100	100	100	100	100	100	100	100	98	93	89	
≥ 4000			9	38	68	84	82	84	84	89	91	93	91	93	86	84	68	45	25	7	5	0	0	
≥ 5000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 6000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			55	59	59	52	50	59	59	59	45	61	46	46	48	50	52	52	52	50	54	48	50	50
≥ 2000	Precoce	75	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	98	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	96	93	
≥ 4000			21	68	86	88	93	93	89	93	96	96	96	95	89	89	79	64	38	16	9	2	0	
≥ 5000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 6000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			61	63	59	50	55	61	61	57	48	61	45	46	50	50	52	54	52	48	52	48	52	52
≥ 2000	Precoce	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	98	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	96	
≥ 4000			41	73	88	95	93	95	93	93	96	98	96	96	96	93	88	75	54	27	11	4	0	
≥ 5000			0	0	0	0	0	0	0	4	4	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 6000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			61	66	57	50	55	55	54	55	48	59	45	46	46	48	52	55	54	48	48	45	50	50
≥ 2000	Precoce	125	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	98	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	96	
≥ 4000			59	82	93	95	98	96	95	95	96	98	98	98	98	95	89	86	66	36	13	4	0	
≥ 5000			0	0	0	0	0	0	2	5	9	4	4	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 6000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			61	64	57	52	57	59	54	59	46	55	48	39	46	46	52	57	54	48	50	45	50	50

Para uma cultivar de ciclo médio, em todas as épocas de semeadura e diferentes capacidades de retenção de água nos solos são obtidos valores ≥ 3000 kg ha⁻¹. Para CAD inferiores a 50 mm, existem limitações de se obter PA ≥ 4000 kg ha⁻¹ a partir dos inícios de fevereiro, provavelmente pela indisponibilidade hídrica requerida. Enquanto a solos com maior capacidade de retenção de água (≥ 75 mm) tem altas probabilidades de atingir valores ≥ 5000 kg ha⁻¹ em datas de semeadura de 20 de agosto a 30 de dezembro.

Tabela 25. Probabilidade (%) de se obter valores de produtividade atingível (PA) nas faixas de 2000 a 7000 kg ha⁻¹ e $\geq$ PA média, considerando uma cultivar de ciclo médio (120 dias) e CAD de 25, 50, 75, 100 e 125 mm em função de 21 datas de semeadura (J – dia juliano), no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Cascavel, PR.

PA	Ciclo	CAD	Data de semeadura																				
			10-Ago	20-Ago	30-Ago	10-Set	20-Set	30-Set	10-Out	20-Out	30-Out	10-Nov	20-Nov	30-Nov	10-Dez	20-Dez	30-Dez	10-Jan	20-Jan	30-Jan	10-Fev	20-Fev	28-Fev
≥ 2000	25		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100
≥ 4000			100	100	100	100	98	98	98	98	98	98	98	98	100	100	100	100	95	91	73	52	32
≥ 5000			4	20	39	52	68	71	80	88	82	86	82	79	70	46	30	7	4	0	0	0	0
≥ 6000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			55	50	52	52	57	55	50	46	54	54	46	43	54	55	52	57	54	46	46	52	54
≥ 2000	50		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
≥ 4000			100	100	100	100	100	98	98	98	98	100	100	100	100	100	100	100	96	95	89	79	64
≥ 5000			43	66	86	86	88	91	91	95	93	95	96	91	88	75	57	29	11	9	0	0	0
≥ 6000			0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			55	50	55	54	57	57	50	54	52	48	45	45	54	54	54	55	50	46	46	52	48
≥ 2000	Médio	75	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
≥ 4000			100	100	100	100	100	98	98	98	100	100	100	100	100	100	100	100	98	96	93	88	75
≥ 5000			70	86	93	93	95	93	93	95	98	96	98	96	91	84	71	46	27	9	0	0	0
≥ 6000			0	0	0	0	0	4	7	9	4	7	7	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			57	52	52	59	55	57	54	54	55	52	45	43	54	54	55	61	50	48	45	48	50
≥ 2000	100		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
≥ 4000			100	100	100	100	100	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	95	93	86
≥ 5000			79	91	95	93	96	93	96	96	98	98	98	98	93	86	80	64	36	13	4	0	0
≥ 6000			0	0	0	0	0	7	14	13	9	13	7	9	4	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			57	52	52	57	55	55	55	54	57	52	46	46	54	54	55	59	46	48	46	48	52
≥ 2000	125		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
≥ 4000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	96	93	88	
≥ 5000			84	93	98	96	96	95	96	98	98	98	98	98	95	91	91	71	41	20	7	0	0
≥ 6000			0	0	0	0	2	18	18	18	14	16	11	13	7	4	0	0	0	0	0	0	0
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			59	52	52	54	57	55	59	52	55	48	45	46	54	55	54	61	46	45	50	50	50

Elevadas probabilidades de se obter produtividades ≥ 4000 kg ha⁻¹ foram observadas para uma cultivar de ciclo tardio para todas as diferentes condições de CAD e épocas de semeadura. Para os solos com CAD ≤ 50 mm, as limitantes para obter rendimentos ≥ 5000 kg ha⁻¹, podem ser observadas a partir dos começos de janeiro, porém, para solos com maior capacidade de armazenamento de água isso é observado apenas no início de fevereiro. Produtividades superiores a 6000 kg ha⁻¹ podem ser obtidas em solos com CAD ≥ 100 mm se semeadas em 20 de agosto a 10 de dezembro.

Tabela 26. Probabilidade (%) de se obter valores de produtividade atingível (PA) nas faixas de 2000 a 7000 kg ha⁻¹ e $\geq$ PA média, considerando uma cultivar de ciclo tardio (140 dias) e CAD de 25, 50, 75, 100 e 125 mm em função de 21 datas de semeadura (J – dia juliano), no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Cascavel, PR.

PA	Ciclo	CAD	Data de semeadura																					
			10-Ago	20-Ago	30-Ago	10-Set	20-Set	30-Set	10-Out	20-Out	30-Out	10-Nov	20-Nov	30-Nov	10-Dez	20-Dez	30-Dez	10-Jan	20-Jan	30-Jan	10-Fev	20-Fev	28-Fev	
≥ 2000	Tardío	25	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 4000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	96
≥ 5000			98	98	96	96	98	98	98	98	98	98	98	98	96	95	91	82	70	52	34	16	0	0
≥ 6000			4	7	13	32	41	43	48	55	52	50	38	34	18	5	2	0	0	0	0	0	0	0
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			41	55	59	55	52	50	50	54	50	46	50	50	54	59	52	54	46	46	52	50	50	50
≥ 2000	Tardío	50	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 4000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 5000			98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	93	91	88	82	63	39	23	11	
≥ 6000			21	36	54	66	68	82	86	84	80	82	77	59	50	29	16	5	0	0	0	0	0	0
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			45	55	54	57	55	57	50	55	45	50	50	50	55	55	52	50	46	48	59	50	52	52
≥ 2000	Tardío	75	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 4000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 5000			98	98	98	98	98	98	98	98	98	100	100	100	100	98	93	93	91	82	63	34	18	
≥ 6000			41	71	71	80	80	88	89	93	93	91	88	80	61	45	23	13	2	0	0	0	0	0
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	4	2	5	2	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			48	57	57	57	54	57	52	52	48	50	50	52	54	57	57	50	46	48	55	52	52	52
≥ 2000	Tardío	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 4000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 5000			100	100	100	98	98	98	100	100	100	100	100	100	100	100	95	95	93	86	70	41	25	
≥ 6000			64	82	82	84	88	89	91	93	98	96	89	86	77	57	34	16	7	0	0	0	0	0
≥ 7000			0	0	0	0	0	7	5	7	7	7	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			48	59	57	57	55	55	50	52	52	54	46	50	55	55	57	52	45	45	50	52	52	52
≥ 2000	Tardío	125	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 4000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 5000			100	100	100	98	98	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100	96	96	91	73	61	30	
≥ 6000			79	86	89	89	91	93	95	96	98	98	95	93	84	64	43	20	9	2	0	0	0	0
≥ 7000			0	0	0	0	7	11	7	7	9	14	9	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			48	57	57	54	55	54	50	57	52	50	43	54	55	55	54	50	45	50	50	57	54	54

4.3. Irati

Os parâmetros de precipitação e temperaturas ao longo do ano no município de Irati são exibidos na Figura 20, onde pode se observar que a primeira variável apresenta no início do ano os maiores valores, sendo que posteriormente diminui a quantidade de chuva tendo um aumento progressivo só a partir dos meses de setembro e outubro. Enquanto à variável temperatura, a fase de estabelecimento da cultura pode ser comprometida pelas baixas temperaturas observadas nos meses de julho e agosto. A partir do mês de setembro até início de janeiro, resultam as temperaturas ótimas recomendadas para a soja, além de apresentar

também boa quantidade e distribuição de chuvas que serão armazenadas no solo para aproveitamento da planta em parte do seu ciclo.

Figura 20. Variação sazonal da precipitação (mm) e temperaturas máxima, média e mínima do ar (°C) no período de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Irati, PR.

Como nas outras localidades, a deficiência hídrica é observada apenas no mês de agosto ($ETr/ETc < 0,60$), para o período de simulação. Enquanto às condições de temperaturas extremas, não existem valores extremos superiores que possam afetar à soja, porém, devido à elevada altitude do município (826 m), as temperaturas atingem menos de 10 °C comprometendo diferentes fases de desenvolvimento da soja. Para uma cultivar de ciclo precoce isso é observado desde inícios do mês de agosto até inícios do mês de novembro e posteriormente é observado novamente nos começos do mês de janeiro. Para uma cultivar de ciclo médio, o risco de não ter temperaturas baixas extremas é apenas observado no mês de novembro e o primeiro decêndio de dezembro. Por último, para uma cultivar tardia, apresenta ao longo de todo o ciclo simulado, o risco de sofrer temperaturas muito baixas que possam afetar alguma das etapas de desenvolvimento da cultura.

Tabela 27. Probabilidade (%) de se obter valores médios de temperatura (T) sob condições de $10 > T > 40$ °C, $20 < T < 30$ °C e dias com T ótima para cultivares de soja de ciclos precoce (100 dias), médio (120 dias) e tardio (140 dias) em função de 21 decêndios no período de agosto a fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Irati, PR.

Ciclo	Condição	Decêndio																				
		Ago			Set			Out			Nov			Dez			Jan			Fev		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
		%																				
Precoce	T>40 °C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	T<10 °C	100	100	100	100	98	98	96	93	86	79	59	50	50	45	59	82	89	93	95	100	100
	20°C<T<30 °C	0	0	0	0	0	0	0	2	2	5	13	13	13	13	4	2	2	0	0	0	0
	Dias com T ótima	25	30	36	42	48	54	60	65	70	74	78	80	80	79	76	71	65	58	49	41	34
Médio	T>40 °C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	T<10 °C	100	100	100	100	98	98	96	93	86	79	64	59	59	82	91	96	95	100	100	100	100
	20°C<T<30 °C	0	0	0	0	0	0	0	2	2	4	9	4	4	2	2	0	0	0	0	0	0
	Dias com T ótima	31	37	42	48	53	59	64	69	72	76	78	77	76	73	69	62	55	49	41	34	28
Tardio	T>40 °C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	T<10 °C	100	100	100	100	98	98	96	93	86	84	80	89	89	96	98	100	100	100	100	98	98
	20°C<T<30 °C	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0
	Dias com T ótima	37	43	48	53	58	63	67	71	73	74	74	73	69	65	60	54	48	42	35	29	25

Na Tabela 28, são apresentadas as produtividades potenciais (PP, kg ha⁻¹) resultantes do município de Irati. Os maiores valores de PP para as cultivares de ciclo precoce, médio e tardio foram obtidos em 30 de outubro, 20 de outubro e 20 de outubro com rendimentos de 4816, 5998 e 6979 kg ha⁻¹, respectivamente, contudo, segundo os parâmetros empíricos da melhor época de semeadura, exibidas na Tabela 29, as maiores produtividades são obtidas nos dias 9 de novembro, 30 de outubro e 20 de outubro com valores de 4804, 5975 e 6914 kg ha⁻¹, respectivamente.

Figura 21. Produtividade potencial (PP) média da cultura da soja para cultivares de ciclos precoce (100 dias), médio (120 dias) e tardio (140 dias) em função de 21 datas de semeadura, no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Irati, PR.

Tabela 28. Produtividade potencial (PP) média da cultura da soja para cultivares de ciclos precoce (100 dias), médio (120 dias) e tardio (140 dias) em função de 21 datas de semeadura, no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Irati, PR.

Ciclo	Data de semeadura																				
	10-Ago	20-Ago	30-Ago	10-Set	20-Set	30-Set	10-Out	20-Out	30-Out	10-Nov	20-Nov	30-Nov	10-Dez	20-Dez	30-Dez	10-Jan	20-Jan	30-Jan	10-Fev	20-Fev	28-Fev
Precoce	3763	3989	4177	4370	4511	4644	4732	4791	4816	4812	4773	4722	4652	4565	4470	4333	4185	3998	3768	3537	3340
Médio	4992	5223	5411	5606	5750	5876	5954	5998	5994	5967	5899	5809	5706	5578	5431	5207	4984	4731	4417	4145	3937
Tardio	6072	6303	6488	6674	6805	6911	6959	6979	6952	6881	6781	6654	6499	6297	6083	5794	5501	5211	4892	4616	4406

Perdas de produtividade (PR/PP) de 41,6; 53,1 e 59,7% foram estimadas para cultivares de ciclo precoce, médio e tardio, respectivamente, para a localidade de Irati.

Tabela 29. Parâmetros empíricos do modelo (a , b e c – kg ha^{-1}) de definição da melhor época de semeadura e data ótima de semeadura ($\text{dia juliano } J_o = -b/2a$) correspondente à produtividade potencial (PP, kg ha^{-1}) média máxima da cultura de soja, considerando diferentes cultivares de ciclos precoce (100 dias), médio (120 dias) e tardio (140 dias), em função de 21 datas de semeadura (J – dia juliano), no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Irati, PR.

Ciclo	a	b	c	R ²	Dia	Jo	PP
Precoce	-0,1210	75,808	-7069,8	0,9971	9 de novembro	313,2	4804
Médio	-0,1443	87,522	-7296,5	0,9979	30 de outubro	303,2	5975
Tardio	-0,1554	91,020	-6413,6	0,9941	20 de outubro	292,9	6914

Em base às probabilidades de se obter valores de PP foram observados que para todos os ciclos da cultura e épocas de semeadura os rendimentos são $\geq 3000 \text{ kg ha}^{-1}$. Para uma cultivar precoce, rendimentos $\geq 4000 \text{ kg ha}^{-1}$ podem ser obtidos se a soja for semeada desde o 10 de setembro até 20 de janeiro. No caso do ciclo médio, as datas ótimas de semeadura para obter produtividades $\geq 5000 \text{ kg ha}^{-1}$ devem ser a partir do 20 de agosto até no máximo 10 de janeiro. Finalmente para uma cultivar tardia, existem possibilidades de se obter rendimentos $\geq 6000 \text{ kg ha}^{-1}$, mas só se ela for semeada entre o 20 de agosto até 20 de dezembro.

Tabela 30. Probabilidade (%) de se obter valores de produtividade potencial (PP) nas faixas de 3000 a 8000 kg ha⁻¹ e $\geq$ PP média, considerando diferentes cultivares de soja de ciclos precoce (100 dias), médio (120 dias) e tardio (140 dias), em função de 21 datas de semeadura (J – dia juliano), no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Irati, PR.

PP	Ciclo	Data de semeadura																				
		10-Ago	20-Ago	30-Ago	10-Set	20-Set	30-Set	10-Out	20-Out	30-Out	10-Nov	20-Nov	30-Nov	10-Dez	20-Dez	30-Dez	10-Jan	20-Jan	30-Jan	10-Fev	20-Fev	28-Fev
≥ 3000	Precoce	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Médio	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Tardío	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
≥ 4000	Precoce	13	45	79	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	96	88	55	7	0	0
	Médio	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	77	36
	Tardío	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	95
≥ 5000	Precoce	0	0	0	0	0	2	4	13	16	16	7	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	43	86	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	88	48	4	0	0	0
	Tardío	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	82	36	7	0
≥ 6000	Precoce	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	0	5	9	23	36	48	45	39	36	20	2	0	0	0	0	0	0	0	0
	Tardío	52	89	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	91	75	11	0	0	0	0	0
≥ 7000	Precoce	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Tardío	0	0	7	11	16	34	38	43	41	36	21	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ 8000	Precoce	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Tardío	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\geq$ PP média	Precoce	48	46	48	46	45	55	43	45	48	52	46	50	50	50	52	48	50	55	48	55	48
	Médio	43	45	46	43	46	48	39	48	45	46	48	50	54	48	52	52	52	54	48	48	50
	Tardío	41	48	46	43	45	50	43	43	43	48	52	50	52	54	55	57	50	50	50	46	52

Os valores de produtividade atingível (PA, kg ha⁻¹) resultantes para o município de Irati em função de cultivares de ciclo precoce, médio e tardio sob diferentes níveis de armazenamento de água no solo (25, 50, 75, 100 e 125 mm) são apresentados na Tabela 31. Em forma geral, os maiores rendimentos para esses ciclos foram obtidos em 10 de novembro, 10 de novembro e 30 de outubro, respectivamente. Sem embargo, os parâmetros empíricos da melhor época de semeadura, apresentados na Tabela 32, indicam que em forma geral as maiores produtividades sob as condições referidas anteriormente são atingidas nos dias de semeadura de 5 de novembro, 27 e 28 de outubro e 19 a 21 de outubro para cultivares de ciclo precoce, médio e tardio, respectivamente.

Figura 22. Produtividade atingível (PA) média da cultura da soja para cultivares de ciclos precoce (100 dias), médio (120 dias) e tardio (140 dias) e CAD de 25, 50, 75, 100 e 125 mm em função de 21 datas de semeadura, no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Irati, PR.

Tabela 31. Produtividade atingível (PA) média da cultura da soja para cultivares de ciclos precoce (100 dias), médio (120 dias) e tardio (140 dias) e CAD de 25, 50, 75, 100 e 125 mm em função de 21 datas de semeadura, no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Irati, PR.

Data de semeadura	Ciclo														
	Precocce					Médio					Tardio				
	CAD					CAD					CAD				
	25	50	75	100	125	25	50	75	100	125	25	50	75	100	125
10-Ago	3178	3325	3408	3466	3510	4190	4381	4485	4557	4612	4881	5120	5254	5349	5424
20-Ago	3325	3484	3572	3632	3679	4310	4505	4613	4689	4748	5011	5237	5366	5459	5536
30-Ago	3425	3590	3681	3745	3794	4380	4575	4687	4767	4831	5102	5325	5452	5544	5621
10-Set	3502	3667	3762	3830	3884	4483	4663	4771	4853	4920	5199	5414	5541	5633	5711
20-Set	3553	3710	3807	3880	3939	4562	4739	4846	4926	4994	5303	5510	5633	5722	5798
30-Set	3639	3785	3878	3948	4007	4641	4814	4921	5001	5068	5424	5632	5747	5832	5903
10-Out	3686	3832	3925	3995	4053	4725	4891	4992	5068	5133	5470	5684	5802	5888	5959
20-Out	3742	3882	3971	4039	4096	4774	4950	5051	5126	5189	5503	5718	5839	5927	5997
30-Out	3783	3928	4016	4082	4138	4794	4969	5071	5148	5210	5502	5720	5840	5928	5999
10-Nov	3803	3949	4037	4104	4159	4794	4974	5076	5152	5212	5480	5698	5820	5907	5975
20-Nov	3793	3944	4030	4095	4148	4750	4931	5034	5111	5171	5403	5617	5743	5832	5900
30-Nov	3746	3899	3990	4057	4111	4687	4861	4967	5043	5103	5289	5501	5629	5718	5787
10-Dez	3706	3852	3943	4010	4063	4610	4782	4887	4963	5022	5183	5390	5513	5600	5666
20-Dez	3651	3794	3884	3949	3999	4501	4671	4775	4850	4906	5030	5232	5354	5440	5506
30-Dez	3572	3714	3803	3868	3916	4385	4551	4655	4729	4787	4843	5043	5164	5251	5318
10-Jan	3455	3594	3682	3748	3798	4196	4360	4461	4536	4595	4655	4850	4964	5047	5112
20-Jan	3321	3461	3548	3613	3664	4014	4177	4279	4353	4411	4477	4669	4780	4861	4923
30-Jan	3167	3307	3395	3459	3510	3857	4017	4112	4183	4239	4299	4484	4591	4668	4729
10-Fev	3011	3146	3230	3293	3342	3650	3808	3902	3970	4023	4122	4295	4396	4470	4529
20-Fev	2860	2995	3077	3137	3184	3484	3635	3725	3791	3842	3973	4140	4235	4303	4356
28-Fev	2729	2863	2944	3003	3048	3380	3527	3605	3666	3718	3856	4017	4109	4174	4225

Tabela 32. Parâmetros empíricos do modelo (a , b e c – kg ha^{-1}) de definição da melhor época de semeadura e data ótima de semeadura (dia juliano $J_o = -b/2a$) correspondente à produtividade atingível (PA, kg ha^{-1}) média máxima da cultura de soja, considerando diferentes cultivares de ciclos precoce (100 dias), médio (120 dias) e tardio (140 dias) e CAD de 25, 50, 75, 100 e 125 mm em função de 21 datas de semeadura (J – dia juliano), no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Irati, PR.

Ciclo	CAD	a	b	c	R ²	Dia	J _o	PA
Precoce	25	-0,0814	50,449	-4033,5	0,9938	5 de novembro	309,9	3783
Precoce	50	-0,0815	50,434	-3865,5	0,9933	5 de novembro	309,4	3937
Precoce	75	-0,0821	50,774	-3824,4	0,9940	5 de novembro	309,2	4026
Precoce	100	-0,0829	51,274	-3834,3	0,9949	5 de novembro	309,3	4094
Precoce	125	-0,0838	51,833	-3866,0	0,9960	5 de novembro	309,3	4149
Médio	25	-0,0978	59,966	-4130,2	0,9908	28 de outubro	301,5	5059
Médio	50	-0,0981	58,964	-3926,9	0,9906	27 de outubro	300,5	4933
Médio	75	-0,0989	59,411	-3880,1	0,9916	27 de outubro	300,4	5042
Médio	100	-0,0996	59,850	-3864,5	0,9924	27 de outubro	300,5	5127
Médio	125	-0,1003	60,194	-3849,7	0,9932	27 de outubro	300,1	5182
Tardio	25	-0,1035	60,997	-3548,8	0,9815	21 de outubro	294,7	5438
Tardio	50	-0,1051	61,731	-3412,4	0,9830	20 de outubro	293,7	5652
Tardio	75	-0,1062	62,315	-3361,1	0,9844	20 de outubro	293,4	5780
Tardio	100	-0,1070	62,710	-3320,1	0,9855	20 de outubro	293,0	5868
Tardio	125	-0,1074	62,880	-3260,6	0,9865	19 de outubro	292,7	5943

Em base a uma cultivar de ciclo precoce, indica-se que para todas as condições de CAD e épocas de semeadura podem-se obter rendimentos de $PA \geq 2000 \text{ kg ha}^{-1}$. Com CAD $\leq 50 \text{ mm}$, a PA é comprometida a partir de inícios de janeiro, sendo que existem poucas probabilidades de se obter produtividades $\geq 3000 \text{ kg ha}^{-1}$, porém, para CAD maiores ao valor indicado anteriormente, essa limitante é observada apenas para os últimos decêndios do mês de fevereiro. Baixas probabilidades de se obter valores de $PA \geq 4000 \text{ kg ha}^{-1}$ são observadas para CAD superiores a 100 mm.

Tabela 33. Probabilidade (%) de se obter valores de produtividade atingível (PA) nas faixas de 2000 a 7000 kg ha⁻¹ e $\geq$ PA média, considerando uma cultivar de ciclo precoce (100 dias) e CAD de 25, 50, 75, 100 e 125 mm em função de 21 datas de semeadura (J – dia juliano), no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Irati, PR.

PA	Ciclo	CAD	Data de semeadura																					
			10-Ago	20-Ago	30-Ago	10-Set	20-Set	30-Set	10-Out	20-Out	30-Out	10-Nov	20-Nov	30-Nov	10-Dez	20-Dez	30-Dez	10-Jan	20-Jan	30-Jan	10-Fev	20-Fev	28-Fev	
≥ 2000	Precoce	25	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			80	95	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	95	79	54	20	5
≥ 4000			0	0	2	5	4	4	11	16	14	16	14	13	5	5	2	0	0	0	0	0	0	0
≥ 5000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ 6000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			54	52	48	46	46	55	52	45	54	45	50	55	52	55	50	46	55	52	52	57	61	
≥ 2000	Precoce	50	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			93	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	89	82	54	21	
≥ 4000			0	2	4	5	13	20	27	36	39	39	41	36	25	16	11	7	0	0	0	0	0	
≥ 5000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 6000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ PA média			54	48	48	48	48	57	52	52	54	48	54	55	54	55	54	46	59	55	50	55	63	
≥ 2000	Precoce	75	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			96	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	95	89	68	50	
≥ 4000			0	4	7	7	25	38	45	43	55	61	61	48	48	29	20	13	0	0	0	0	0	
≥ 5000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 6000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ PA média			54	52	48	50	48	57	55	46	52	50	52	54	54	57	54	48	55	55	50	57	61	
≥ 2000	Precoce	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	95	80	61	
≥ 4000			0	5	11	16	34	48	55	57	66	73	70	64	54	43	27	20	0	0	0	0	0	
≥ 5000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 6000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ PA média			54	55	45	50	48	57	55	48	54	50	55	52	52	61	52	48	52	52	54	57	61	
≥ 2000	Precoce	125	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	88	63		
≥ 4000			0	7	11	29	39	61	63	70	75	79	75	75	66	55	36	21	9	0	0	0	0	
≥ 5000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 6000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
> PA média			52	52	43	48	48	54	54	50	55	50	55	52	52	55	54	45	54	54	55	57	59	

Valores de PA ≥ 3000 kg ha⁻¹ são obtidos para uma cultivar de ciclo médio em todas as épocas de semeadura e diferentes capacidades de armazenamento de água. Limitantes para obter rendimentos ≥ 4000 kg ha⁻¹ são observados a partir de janeiro para CAD ≤ 75 mm. Para solos com maior armazenamento de água, esse período foi definido a partir do mês de fevereiro. Poucas probabilidades de se obter valores de PA ≥ 5000 kg ha⁻¹ são observadas para CAD superiores a 100 mm.

Tabela 34. Probabilidade (%) de se obter valores de produtividade atingível (PA) nas faixas de 2000 a 7000 kg ha⁻¹ e $\geq$ PA média, considerando uma cultivar de ciclo médio (120 dias) e CAD de 25, 50, 75, 100 e 125 mm em função de 21 datas de semeadura (J – dia juliano), no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Irati, PR.

PA	Ciclo	CAD	Data de semeadura																				
			10-Ago	20-Ago	30-Ago	10-Set	20-Set	30-Set	10-Out	20-Out	30-Out	10-Nov	20-Nov	30-Nov	10-Dez	20-Dez	30-Dez	10-Jan	20-Jan	30-Jan	10-Fev	20-Fev	28-Fev
≥ 2000		25	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98
≥ 4000			82	93	96	93	95	98	100	100	100	100	100	100	100	98	93	75	55	25	5	0	0
≥ 5000			0	4	5	4	4	11	18	20	20	18	13	7	4	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ 6000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			45	45	50	50	52	50	46	54	52	50	50	55	54	50	50	55	54	46	52	57	54
≥ 2000		50	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	
≥ 4000			95	98	100	96	96	100	100	100	100	100	100	100	98	98	89	75	52	16	4	2	
≥ 5000			4	5	5	13	30	32	36	46	50	48	45	30	21	9	4	0	0	0	0	0	
≥ 6000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ PA média			46	46	48	48	59	55	50	52	52	59	50	52	54	54	54	55	54	52	55	59	54
≥ 2000		75	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 4000			96	100	100	100	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	93	80	68	34	11	2
≥ 5000			4	7	9	23	38	43	48	64	64	68	57	48	38	20	11	0	0	0	0	0	0
≥ 6000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			46	46	46	50	55	55	52	57	55	54	52	50	57	55	54	54	55	52	55	59	57
≥ 2000		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 4000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	96	91	80	52	16	4
≥ 5000			5	9	13	36	45	52	61	71	73	75	70	55	50	30	20	0	0	0	0	0	0
≥ 6000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			50	48	46	46	55	52	50	59	54	55	52	48	54	54	52	52	55	55	54	57	55
≥ 2000		125	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 4000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	96	86	59	18	9	
≥ 5000			7	11	21	41	54	59	71	77	79	77	75	75	59	39	23	5	0	0	0	0	0
≥ 6000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			54	46	46	46	54	50	50	59	57	52	50	50	57	52	50	50	54	55	55	59	57

Assim como para uma cultivar de ciclo médio, o ciclo tardio também apresentou valores de PA ≥ 3000 kg ha⁻¹ em todas as datas de semeadura e nos diferentes níveis de armazenamento hídrico no solo. Da mesma forma, apresentou restrições para obter rendimentos ≥ 5000 kg ha⁻¹, só que foram observados já no mês de agosto e logo a partir de dezembro para solos com CAD ≤ 75 mm. Para solos com maior retenção de água, esse período limitante foi determinado só a partir de janeiro.

Tabela 35. Probabilidade (%) de se obter valores de produtividade atingível (PA) nas faixas de 2000 a 7000 kg ha⁻¹ e $\geq$ PA média, considerando uma cultivar de ciclo tardio (140 dias) e CAD de 25, 50, 75, 100 e 125 mm em função de 21 datas de semeadura (J – dia juliano), no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Irati, PR.

PA	Ciclo	CAD	Data de semeadura																					
			10-Ago	20-Ago	30-Ago	10-Set	20-Set	30-Set	10-Out	20-Out	30-Out	10-Nov	20-Nov	30-Nov	10-Dez	20-Dez	30-Dez	10-Jan	20-Jan	30-Jan	10-Fev	20-Fev	28-Fev	
≥ 2000	Tardío	25	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 4000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	95	86	66	45	30
≥ 5000			30	50	68	70	84	91	95	98	93	96	93	82	75	61	23	13	2	0	0	0	0	0
≥ 6000			0	2	2	2	4	5	4	5	7	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			46	46	54	54	50	50	48	50	55	57	52	52	55	54	50	48	50	54	54	50	50	50
≥ 2000	Tardío	50	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 4000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	95	84	73	57	
≥ 5000			57	80	84	86	89	95	100	100	100	98	96	96	95	80	57	30	14	4	0	0	0	0
≥ 6000			2	4	2	5	7	13	14	16	18	16	11	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			45	45	54	52	57	48	52	54	52	52	54	54	50	52	50	46	50	54	52	54	52	52
≥ 2000	Tardío	75	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 4000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	91	79	68	
≥ 5000			79	86	86	89	96	100	100	100	100	100	98	98	95	88	73	46	21	5	0	0	0	0
≥ 6000			4	5	9	14	18	20	23	34	34	27	20	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			43	46	54	52	55	55	57	55	54	54	54	52	54	54	52	54	50	52	57	55	54	54
≥ 2000	Tardío	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 4000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	93	80	71	
≥ 5000			95	93	93	93	98	100	100	100	100	100	100	98	96	89	80	59	29	9	2	0	0	0
≥ 6000			5	7	9	20	21	30	43	43	43	34	29	14	7	2	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			41	48	52	50	59	57	57	57	54	52	55	55	52	55	54	54	50	50	59	55	54	54
≥ 2000	Tardío	125	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 4000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	93	82	82	
≥ 5000			96	96	96	96	100	100	100	100	100	100	100	98	98	95	86	70	43	16	2	0	0	0
≥ 6000			5	7	13	27	30	43	55	54	54	50	38	27	13	4	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			41	50	54	52	57	57	61	55	54	52	57	55	54	55	55	54	52	50	59	55	54	54

4.4. Joaquim Távora

Em função das variações sazonais de temperatura e precipitação no município de Joaquim Távora, apresentados na Figura 23, pode-se notar a diferencia que existe entre os períodos de boa pluviosidade, indicados no início e final do ano, e as estações de baixa precipitação destacando-se o mês de agosto. Além disso, enquanto às temperaturas, nos meses mais frios, as mínimas não atingem quase valores menores do que 10 °C e nos meses mais quentes, as máximas quase não ultrapassam os 30 °C, condições essenciais para o bom desenvolvimento da cultura. Os períodos ideais para a soja, considerando temperaturas ótimas

e quantidade de água requeridas pela cultura, iniciam a partir do final de setembro e inícios de outubro, continuando até o mês de janeiro.

Figura 23. Variação sazonal da precipitação (mm) e temperaturas máxima, média e mínima do ar (°C) no período de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Joaquim Távora, PR.

Considerando o período de simulação, essa localidade também apresenta deficiência hídrica só no mês de agosto ($ET_r/ET_c < 0,60$). Não são observadas condições extremas de temperaturas superiores a 40 °C que possam afetar a cultura, porém, existem períodos não tão prolongados com risco de temperaturas baixas. Para uma cultivar de ciclo precoce, esses períodos são observados até o segundo decêndio do mês de agosto e o mês de fevereiro. Para um ciclo médio, também o mês de agosto e desde o segundo decêndio de janeiro, representam um risco na semeadura. Finalmente para uma cultivar tardia, novamente o mês de agosto e já no final do mês de dezembro são observadas limitantes de temperatura que podem afetar em alguma fase de desenvolvimento da cultura de soja.

Tabela 36. Probabilidade (%) de se obter valores médios de temperatura (T) sob condições de $10 > T > 40$ °C, $20 < T < 30$ °C e dias com T ótima para cultivares de soja de ciclos precoce (100 dias), médio (120 dias) e tardio (140 dias) em função de 21 decêndios no período de agosto a fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Joaquim Távora, PR.

Ciclo	Condição	Decêndio																				
		Ago			Set			Out			Nov			Dez			Jan			Fev		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
		%																				
Precoce	T > 40 °C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	T < 10 °C	95	88	77	66	57	34	29	18	7	2	2	2	2	5	13	30	43	71	86	95	98
	$20^{\circ}\text{C} < T < 30^{\circ}\text{C}$	2	5	13	29	50	73	88	98	100	100	100	100	100	100	100	96	95	66	29	7	2
	Dias com T ótima	71	77	81	85	89	93	95	97	98	99	99	100	100	100	99	98	95	91	85	79	73
Médio	T > 40 °C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	T < 10 °C	95	88	77	66	57	34	29	18	7	2	5	7	7	27	43	71	86	95	98	98	98
	$20^{\circ}\text{C} < T < 30^{\circ}\text{C}$	4	9	18	38	64	88	93	100	100	100	100	100	100	100	96	75	45	18	2	0	0
	Dias com T ótima	76	80	84	88	91	94	96	97	98	99	99	99	99	98	96	92	88	83	76	70	64
Tardio	T > 40 °C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	T < 10 °C	95	88	77	66	57	34	29	18	11	7	14	29	29	70	86	95	98	98	98	98	98
	$20^{\circ}\text{C} < T < 30^{\circ}\text{C}$	4	13	23	52	75	91	96	100	100	100	100	100	100	91	64	27	2	2	0	0	0
	Dias com T ótima	79	83	86	90	92	95	96	98	98	99	99	98	97	94	90	85	80	75	68	63	58

São apresentadas na Tabela 37 as produtividades potenciais (PP, kg ha⁻¹) resultantes no município de Joaquim Távora. Para as cultivares de ciclo precoce, médio e tardio, os valores mais elevados foram obtidos nas datas de semeadura de 30 de outubro, 20 de outubro e 20 de outubro, com rendimentos de 5316, 6654, 7773 kg ha⁻¹, respectivamente, no entanto, os parâmetros empíricos da melhor época de semeadura, apresentadas na Tabela 38, indicam que as produtividades mais altas são obtidas nos dias 3 de novembro, 24 de outubro e 13 de outubro com rendimentos de 5305, 6630 e 7718 kg ha⁻¹, respectivamente.

Figura 24. Produtividade potencial (PP) média da cultura da soja para cultivares de ciclos precoce (100 dias), médio (120 dias) e tardio (140 dias) em função de 21 datas de semeadura, no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Joaquim Távora, PR.

Tabela 37. Produtividade potencial (PP) média da cultura da soja para cultivares de ciclos precoce (100 dias), médio (120 dias) e tardio (140 dias) em função de 21 datas de semeadura, no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Joaquim Távora, PR.

Ciclo	Data de semeadura																				
	10-Ago	20-Ago	30-Ago	10-Set	20-Set	30-Set	10-Out	20-Out	30-Out	10-Nov	20-Nov	30-Nov	10-Dez	20-Dez	30-Dez	10-Jan	20-Jan	30-Jan	10-Fev	20-Fev	28-Fev
Precoce	4689	4846	4967	5075	5155	5228	5272	5304	5316	5301	5278	5226	5182	5111	5034	4939	4819	4679	4493	4323	4170
Médio	6066	6203	6322	6435	6509	6581	6634	6654	6649	6619	6573	6476	6391	6292	6170	6014	5839	5656	5413	5209	5046
Tardio	7235	7374	7478	7589	7671	7729	7768	7773	7747	7671	7583	7463	7336	7181	7014	6816	6596	6383	6139	5931	5774

De acordo à relação entre PR/PP, foram calculadas perdas de 52,8; 62,3 e 67,7% para cultivares de ciclo precoce, médio e tardio, respectivamente.

Tabela 38. Parâmetros empíricos do modelo (a , b e c – kg ha^{-1}) de definição da melhor época de semeadura e data ótima de semeadura (dia juliano $Jo = -b/2a$) correspondente à produtividade potencial (PP, kg ha^{-1}) média máxima da cultura de soja, considerando diferentes cultivares de ciclos precoce (100 dias), médio (120 dias) e tardio (140 dias), em função de 21 datas de semeadura (J – dia juliano), no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Joaquim Távora, PR.

Ciclo	a	b	c	R ²	Dia	Jo	PP
Precoce	-0,0830	50,922	-2505,1	0,9988	3 de novembro	306,7	5305
Médio	-0,1006	59,702	-2227,4	0,9989	24 de outubro	296,7	6630
Tardio	-0,1086	62,184	-1183,1	0,9946	13 de outubro	286,3	7718

Segundo às probabilidades de atingir valores de $PP \geq 4000 \text{ kg ha}^{-1}$, observa-se que para todos os ciclos da cultura e épocas de semeadura esse valor é alcançado. Para uma cultivar de ciclo precoce, existe ainda possibilidade de obter rendimentos superiores a 5000 kg ha^{-1} , devendo a soja ser semeada a partir de 30 de setembro até 10 de dezembro. Para uma cultivar de ciclo médio, essa produtividade pode chegar até 6000 kg ha^{-1} , considerando a data de semeadura desde o segundo decêndio de agosto ao último decêndio de dezembro. E para uma cultivar tardia, valores $\geq 7000 \text{ kg ha}^{-1}$, cujas probabilidades de ser obtido são elevadas, observam-se no desde o segundo decêndio de agosto até o primeiro decêndio de dezembro.

Tabela 39. Probabilidade (%) de se obter valores de produtividade potencial (PP) nas faixas de 3000 a 8000 kg ha⁻¹ e $\geq$ PP média, considerando diferentes cultivares de soja de ciclos precoce (100 dias), médio (120 dias) e tardio (140 dias), em função de 21 datas de semeadura (J – dia juliano), no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Joaquim Távora, PR.

PP	Ciclo	Data de semeadura																				
		10-Ago	20-Ago	30-Ago	10-Set	20-Set	30-Set	10-Out	20-Out	30-Out	10-Nov	20-Nov	30-Nov	10-Dez	20-Dez	30-Dez	10-Jan	20-Jan	30-Jan	10-Fev	20-Fev	28-Fev
≥ 3000	Precoce	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Médio	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Tardío	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
≥ 4000	Precoce	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	93	80
	Médio	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Tardío	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
≥ 5000	Precoce	4	18	45	68	79	88	91	93	93	91	91	89	84	79	64	30	16	11	2	2	2
	Médio	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	93	79	54
	Tardío	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
≥ 6000	Precoce	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	57	82	91	96	96	96	96	95	95	95	95	91	93	91	80	46	16	9	2	2	2
	Tardío	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	96	91	70	38	13
≥ 7000	Precoce	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	0	4	4	4	9	11	14	7	4	0	0	2	2	2	2	2	2	0	0
	Tardío	82	93	96	96	96	96	96	96	96	96	93	93	88	77	55	16	5	2	2	2	2
≥ 8000	Precoce	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Tardío	0	4	4	4	13	16	18	18	18	16	5	2	2	2	2	2	2	2	0	0	0
$\geq$ PP média	Precoce	46	50	52	59	57	59	54	55	52	54	63	59	55	57	54	43	45	45	55	46	48
	Médio	43	48	54	57	59	57	52	54	55	57	57	57	55	50	52	43	46	52	52	48	50
	Tardío	50	52	54	54	54	50	57	59	54	55	57	57	57	45	46	48	45	52	45	48	50

Em função das cultivares de ciclo precoce, médio e tardio simulados sob diferentes CAD (25, 50, 75, 100 e 125 mm) do solo, os valores de produtividade atingível (PA, kg ha⁻¹) resultantes para o município de Joaquim Távora são apresentados na Tabela 40. Os maiores rendimentos obtidos em forma geral para esses ciclos foram nas datas de 30 de outubro a 20 de novembro, de 20 a 30 de outubro e 30 de outubro, respectivamente, embora os parâmetros empíricos da melhor época de semeadura, apresentados na Tabela 41, indiquem que de maneira geral as produtividades mais elevadas sob condições elencadas anteriormente são atingidas nos dias de semeadura de 5 e 6 de novembro, 28 e 29 de outubro e 19 a 22 de outubro, respectivamente para cultivares de ciclo precoce, médio e tardio.

Figura 25. Produtividade atingível (PA) média da cultura da soja para cultivares de ciclos precoce (100 dias), médio (120 dias) e tardio (140 dias) e CAD de 25, 50, 75, 100 e 125 mm em função de 21 datas de semeadura, no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Joaquim Távora, PR.

Tabela 40. Produtividade atingível (PA) média da cultura da soja para cultivares de ciclos precoce (100 dias), médio (120 dias) e tardio (140 dias) e CAD de 25, 50, 75, 100 e 125 mm em função de 21 datas de semeadura, no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Joaquim Távora, PR.

Data de semeadura	Ciclo														
	Precoce					Médio					Tardio				
	CAD					CAD					CAD				
	25	50	75	100	125	25	50	75	100	125	25	50	75	100	125
10-Ago	3555	3700	3790	3863	3924	4643	4822	4932	5015	5087	5389	5611	5740	5834	5917
20-Ago	3673	3826	3921	3996	4059	4742	4921	5030	5113	5186	5509	5729	5854	5948	6029
30-Ago	3758	3912	4009	4084	4148	4821	5006	5115	5197	5269	5619	5833	5953	6045	6126
10-Set	3831	3984	4079	4153	4216	4904	5084	5191	5277	5351	5740	5956	6073	6165	6244
20-Set	3869	4026	4123	4202	4268	5003	5181	5283	5366	5440	5847	6071	6193	6284	6364
30-Set	3955	4108	4199	4275	4342	5093	5276	5379	5460	5531	5995	6211	6332	6420	6494
10-Out	4016	4171	4263	4335	4398	5193	5372	5476	5555	5623	6044	6274	6402	6494	6568
20-Out	4097	4246	4335	4405	4465	5269	5452	5558	5636	5701	6043	6281	6420	6521	6599
30-Out	4155	4308	4399	4467	4525	5258	5451	5564	5648	5716	6046	6287	6426	6527	6608
10-Nov	4146	4306	4401	4474	4533	5233	5431	5550	5639	5710	5982	6230	6372	6473	6557
20-Nov	4140	4303	4403	4478	4539	5213	5411	5530	5617	5688	5876	6132	6277	6381	6466
30-Nov	4087	4253	4355	4433	4495	5106	5312	5432	5520	5594	5766	6016	6157	6258	6341
10-Dez	4045	4217	4320	4396	4459	5022	5228	5349	5435	5506	5667	5912	6049	6147	6226
20-Dez	3973	4145	4248	4323	4385	4927	5132	5249	5334	5403	5492	5737	5879	5979	6060
30-Dez	3894	4069	4170	4244	4305	4796	4999	5118	5206	5276	5308	5548	5690	5792	5875
10-Jan	3782	3951	4053	4131	4193	4625	4821	4940	5028	5101	5118	5350	5489	5590	5672
20-Jan	3667	3831	3933	4010	4072	4459	4646	4763	4852	4925	4951	5174	5312	5414	5497
30-Jan	3526	3686	3787	3865	3929	4292	4484	4602	4691	4764	4795	5009	5145	5246	5329
10-Fev	3352	3514	3617	3695	3759	4086	4273	4394	4487	4563	4657	4861	4991	5086	5166
20-Fev	3189	3353	3461	3544	3611	3960	4135	4252	4340	4413	4569	4762	4888	4978	5052
28-Fev	3087	3244	3351	3432	3497	3887	4055	4168	4252	4321	4501	4685	4803	4890	4962

Tabela 41. Parâmetros empíricos do modelo (a , b e c – kg ha^{-1}) de definição da melhor época de semeadura e data ótima de semeadura (dia juliano $Jo = -b/2a$) correspondente à produtividade atingível (PA, kg ha^{-1}) média máxima da cultura de soja, considerando diferentes cultivares de ciclos precoce (100 dias), médio (120 dias) e tardio (140 dias) e CAD de 25, 50, 75, 100 e 125 mm em função de 21 datas de semeadura (J – dia juliano), no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Joaquim Távora, PR.

Ciclo	CAD	a	b	c	R ²	Dia	Jo	PA
Precoce	25	-0,0801	49,629	-3563,9	0,9887	5 de novembro	309,8	4123
Precoce	50	-0,0811	50,326	-3527,2	0,9881	6 de novembro	310,3	4280
Precoce	75	-0,0808	50,207	-3421,7	0,9874	6 de novembro	310,7	4378
Precoce	100	-0,0804	49,965	-3314,0	0,9878	6 de novembro	310,7	4449
Precoce	125	-0,0800	49,722	-3214,0	0,9886	6 de novembro	310,8	4512
Médio	25	-0,0957	57,664	-3488,0	0,9828	28 de outubro	301,3	5198
Médio	50	-0,0981	59,281	-3557,5	0,9841	29 de outubro	302,1	5398
Médio	75	-0,0985	59,566	-3500,5	0,9837	29 de outubro	302,4	5505
Médio	100	-0,0985	59,600	-3426,4	0,9841	29 de outubro	302,5	5589
Médio	125	-0,0982	59,430	-3329,4	0,9849	29 de outubro	302,6	5662
Tardio	25	-0,0970	56,822	-2384,5	0,9563	19 de outubro	292,9	5937
Tardio	50	-0,1017	59,786	-2608,2	0,9610	20 de outubro	293,9	6178
Tardio	75	-0,1036	61,020	-2676,2	0,9626	21 de outubro	294,5	6309
Tardio	100	-0,1046	61,681	-2685,9	0,9641	21 de outubro	294,8	6407
Tardio	125	-0,1049	61,888	-2637,3	0,9658	22 de outubro	295,0	6491

Em base as condições de CAD e épocas de semeadura para a cultura da soja simuladas, para uma cultivar de ciclo precoce, podem-se obter em todos os casos rendimentos de $PA \geq 2000 \text{ kg ha}^{-1}$. Com $CAD \geq 75 \text{ mm}$, as probabilidades de obter rendimentos superiores a 3000 kg ha^{-1} são indicadas para todas as datas de semeadura. Para solos com $CAD \leq 25 \text{ mm}$, a máxima produtividade que pode ser obtida é $< 4000 \text{ kg ha}^{-1}$, porém, para capacidades de armazenamento superiores, esses rendimentos atingem valores $> 4000 \text{ kg ha}^{-1}$ se a soja for semeada em 10 de setembro até 10 de dezembro.

Tabela 42. Probabilidade (%) de se obter valores de produtividade atingível (PA) nas faixas de 2000 a 7000 kg ha⁻¹ e $\geq$ PA média, considerando uma cultivar de ciclo precoce (100 dias) e CAD de 25, 50, 75, 100 e 125 mm em função de 21 datas de semeadura (J – dia juliano), no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Joaquim Távora, PR.

PA	Ciclo	CAD	Data de semeadura																					
			10-Ago	20-Ago	30-Ago	10-Set	20-Set	30-Set	10-Out	20-Out	30-Out	10-Nov	20-Nov	30-Nov	10-Dez	20-Dez	30-Dez	10-Jan	20-Jan	30-Jan	10-Fev	20-Fev	28-Fev	
≥ 2000	Precoce	25	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	89	80	66
≥ 4000			2	9	16	21	27	43	55	64	71	75	73	64	59	57	30	16	7	2	2	2	0	
≥ 5000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	
≥ 6000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ PA média			46	48	45	45	52	57	50	48	52	50	61	55	52	61	48	50	52	54	50	52	57	
≥ 2000	Precoce	50	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	96	91	80	
≥ 4000			14	25	32	45	54	68	80	89	89	84	86	88	84	73	64	41	20	7	2	2	2	
≥ 5000			0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2	2	2	0	0	0	
≥ 6000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ PA média			46	48	46	50	52	55	55	45	59	57	64	55	55	63	59	50	50	54	54	54	52	
≥ 2000	Precoce	75	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	96	89		
≥ 4000			27	38	48	57	64	79	89	95	91	86	88	93	91	82	77	63	34	16	5	2	2	
≥ 5000			0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	2	2	2	0	0	0	
≥ 6000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ PA média			43	52	46	50	50	57	50	45	59	61	61	57	52	59	59	46	52	55	55	52	52	
≥ 2000	Precoce	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	95		
≥ 4000			32	48	63	66	75	88	91	96	95	95	91	93	91	86	82	68	50	29	7	2	2	
≥ 5000			0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	2	2	2	2	0	0	0	
≥ 6000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ PA média			41	48	48	48	54	55	50	45	57	59	55	57	54	61	59	48	48	55	55	48	52	
≥ 2000	Precoce	125	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	98		
≥ 4000			39	61	71	80	82	91	93	98	95	96	96	95	95	91	86	73	61	38	13	2	2	
≥ 5000			0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	0	2	0	0	2	2	2	2	2	2	0	
≥ 6000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
> PA média			41	48	46	50	55	55	50	45	57	55	55	57	52	59	59	48	48	54	57	50	52	

Valores de PA ≥ 3000 kg ha⁻¹ são obtidos para uma cultivar de ciclo médio para todas as capacidades de armazenamento de água no solo e para todas as épocas de semeadura simuladas. Para a obtenção de rendimentos ≥ 4000 kg ha⁻¹, em solos com CAD ≤ 50 mm, a soja deve ser semeada antes do início do mês de fevereiro. Enquanto para solos com CAD ≥ 75 mm, o potencial de rendimento aumenta para mais de 5000 kg ha⁻¹, só se a soja for semeada entre o 30 de agosto e o 20 de dezembro.

Tabela 43. Probabilidade (%) de se obter valores de produtividade atingível (PA) nas faixas de 2000 a 7000 kg ha⁻¹ e $\geq$ PA média, considerando uma cultivar de ciclo médio (120 dias) e CAD de 25, 50, 75, 100 e 125 mm em função de 21 datas de semeadura (J – dia juliano), no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Joaquim Távora, PR.

PA	Ciclo	CAD	Data de semeadura																							
			10-Ago	20-Ago	30-Ago	10-Set	20-Set	30-Set	10-Out	20-Out	30-Out	10-Nov	20-Nov	30-Nov	10-Dez	20-Dez	30-Dez	10-Jan	20-Jan	30-Jan	10-Fev	20-Fev	28-Fev			
≥ 2000	25		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100			
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100			
≥ 4000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	95	86	66	46	39			
≥ 5000			7	18	29	38	57	68	73	77	79	82	79	68	57	38	16	7	2	2	0	0	0			
≥ 6000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2	2	2	0	0	0	0	0			
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
≥ PA média			59	41	45	55	55	46	52	54	52	52	55	50	46	48	43	46	52	52	48	52	55			
≥ 2000	50		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100				
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100				
≥ 4000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	89	82	64	61				
≥ 5000			27	36	50	64	77	88	93	93	89	91	95	89	82	70	45	18	9	4	2	2	0			
≥ 6000			0	0	0	0	0	0	2	2	0	2	2	2	0	2	2	2	2	0	0	0	0			
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
≥ PA média			55	43	48	50	54	48	48	55	59	54	59	48	57	48	45	48	46	50	54	50	57			
≥ 2000	Médio	75	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100				
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100				
≥ 4000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	95	88	79	71				
≥ 5000			48	50	63	75	84	93	96	96	91	93	95	91	84	80	64	38	18	5	2	2	2			
≥ 6000			0	0	0	0	2	4	2	4	5	7	2	2	2	2	2	2	2	0	0	0				
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
≥ PA média			52	48	48	52	55	45	52	55	52	50	61	50	61	50	52	48	54	50	54	48	55			
≥ 2000	100		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100				
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100				
≥ 4000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	95	93	84	77			
≥ 5000			55	63	71	82	89	93	98	96	96	95	95	95	88	84	68	55	25	14	2	2	2			
≥ 6000			0	0	0	0	2	4	7	13	14	13	7	4	2	2	2	2	2	2	0	0	0			
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
≥ PA média			52	48	45	52	52	48	50	52	54	50	63	54	57	52	50	52	54	54	55	50	52			
≥ 2000	125		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100				
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100				
≥ 4000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	96	93	82				
≥ 5000			68	71	86	84	95	98	98	96	96	95	95	95	93	88	79	63	38	18	2	2	2			
≥ 6000			0	0	2	2	2	5	11	20	23	18	11	4	2	2	2	2	2	2	2	0	0			
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
≥ PA média			54	45	43	54	54	52	52	50	54	52	59	55	54	48	52	52	55	54	52	50	52			

Da mesma forma, para uma cultivar de ciclo tardio, em todas as datas de semeadura e capacidades de armazenamento hídrico no solo, a PA foi ≥ 4000 kg ha⁻¹. Para solos com CAD ≤ 50 mm, existem poucas probabilidades de obter rendimentos ≥ 6000 kg ha⁻¹, não obstante, para maiores níveis de retenção hídrica, esse valor pode ser superado com semeaduras feitas a partir de 20 de setembro a 30 de novembro.

Tabela 44. Probabilidade (%) de se obter valores de produtividade atingível (PA) nas faixas de 2000 a 7000 kg ha⁻¹ e $\geq$ PA média, considerando uma cultivar de ciclo tardio (140 dias) e CAD de 25, 50, 75, 100 e 125 mm em função de 21 datas de semeadura (J – dia juliano), no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Joaquim Távora, PR.

PA	Ciclo	CAD	Data de semeadura																					
			10-Ago	20-Ago	30-Ago	10-Set	20-Set	30-Set	10-Out	20-Out	30-Out	10-Nov	20-Nov	30-Nov	10-Dez	20-Dez	30-Dez	10-Jan	20-Jan	30-Jan	10-Fev	20-Fev	28-Fev	
≥ 2000	Tardío	25	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 4000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	96	96	96	95
≥ 5000			91	98	95	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	93	86	70	43	27	14	11	5
≥ 6000			5	5	14	13	25	54	59	57	63	50	34	18	11	9	4	2	0	0	0	0	0	0
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			45	48	54	50	52	54	59	54	52	54	52	52	45	43	46	45	57	48	50	57	54	54
≥ 2000	Tardío	50	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 4000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	100	98	98	
≥ 5000			98	98	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	93	84	77	55	38	23	18	
≥ 6000			14	23	32	43	68	75	77	80	84	77	71	54	41	18	9	4	2	2	0	0	0	0
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			48	45	52	46	54	55	57	54	52	57	54	54	46	48	48	50	54	55	52	54	54	54
≥ 2000	Tardío	75	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 4000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 5000			98	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	96	91	79	71	50	46	29	
≥ 6000			20	29	45	52	73	86	88	89	89	91	86	73	57	34	16	7	2	2	2	2	2	2
≥ 7000			0	0	0	0	2	2	0	2	2	2	0	2	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			46	48	50	46	55	55	50	55	50	57	55	52	52	48	46	48	55	55	54	54	54	54
≥ 2000	Tardío	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 4000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 5000			98	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	93	82	77	59	46	45	
≥ 6000			29	38	55	70	79	89	89	89	89	95	88	79	64	48	21	14	2	2	2	2	2	2
≥ 7000			0	0	0	0	2	2	7	11	5	5	2	2	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			46	46	48	48	54	50	48	55	45	57	57	55	50	48	50	48	55	52	54	54	54	54
≥ 2000	Tardío	125	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 4000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 5000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	95	89	80	63	61	48	
≥ 6000			36	57	64	79	88	93	95	91	91	95	91	82	71	54	32	14	4	2	2	2	2	2
≥ 7000			0	0	0	0	2	7	11	13	14	7	4	2	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			46	43	48	46	50	50	48	54	50	55	57	57	48	46	48	50	55	52	54	50	52	52

4.5. Londrina

As médias do período de 56 anos das variáveis de temperatura e precipitação para o município de Londrina são apresentadas na Figura 26, onde pode se observar um alto índice pluviométrico nos meses iniciais e finais do ano, sendo que a partir do mês de março a junho as chuvas são regulares e posteriormente em julho decresce até chegar ao mês de agosto, apresentando os menores valores de precipitação. Enquanto à temperatura, as máximas extremas não são problema nesta localidade, mas nos meses de maio a agosto são observadas as temperaturas mais baixas, porém, a média ótima é ressaltada a partir do mês de outubro até

finais de fevereiro, acompanhado de boa quantidade de água, essências para o correto desenvolvimento da cultura da soja.

Figura 26. Variação sazonal da precipitação (mm) e temperaturas máxima, média e mínima do ar (°C) no período de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Londrina, PR.

Para o período de simulação, o mês de agosto foi o único em apresentar deficiência hídrica ($ET_r/ET_c < 0,60$), como nas outras localidades. Como mencionado anteriormente, não existem possibilidades de ter temperaturas máximas extremas, porém, sim para mínimas extremas que podem afetar o desenvolvimento da soja em alguma fase de crescimento. Por exemplo, pode-se observar que para uma cultivar precoce, nos inícios de agosto e finais de fevereiro tem alta probabilidade de sofrer perdas por causa das baixas temperaturas. Para uma cultivar de ciclo médio, as mesmas possibilidades acontecem no mês de agosto, mas o risco já se antecipa ao último decêndio de janeiro. E por último, enquanto à cultivar tardia, o risco é maior ainda, sendo que desde inícios do mês de janeiro, podem se apresentar temperaturas baixas que possam afetar algumas das etapas críticas de desenvolvimento da soja.

Tabela 45. Probabilidade (%) de se obter valores médios de temperatura (T) sob condições de $10 > T > 40$ °C, $20 < T < 30$ °C e dias com T ótima para cultivares de soja de ciclos precoce (100 dias), médio (120 dias) e tardio (140 dias) em função de 21 decêndios no período de agosto a fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Londrina, PR.

Ciclo	Condição	Decêndio																				
		Ago			Set			Out			Nov			Dez			Jan			Fev		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
		%																				
Precoce	T>40 °C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	T<10 °C	93	82	77	64	52	30	23	16	9	5	2	0	0	5	7	25	34	57	71	89	95
	20°C<T<30 °C	0	9	18	34	55	77	93	95	96	98	100	100	100	100	100	98	93	68	23	4	2
	Dias com T ótima	72	77	81	86	89	93	95	96	98	98	99	99	99	99	99	97	95	91	85	78	72
Médio	T>40 °C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	T<10 °C	93	82	77	64	52	30	23	16	9	5	5	5	5	23	34	57	71	86	95	96	98
	20°C<T<30 °C	5	18	25	39	61	91	95	96	96	100	100	100	100	100	98	77	36	11	2	0	0
	Dias com T ótima	76	81	84	88	91	94	96	97	98	99	99	99	99	98	96	92	88	82	76	70	65
Tardio	T>40 °C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	T<10 °C	93	82	77	64	52	30	23	16	11	9	9	23	23	55	70	86	95	96	100	98	100
	20°C<T<30 °C	11	21	29	52	70	93	96	96	96	98	100	100	100	84	57	23	5	2	0	0	0
	Dias com T ótima	79	83	86	90	92	94	96	97	98	98	98	98	97	93	90	85	80	75	69	62	59

As produtividades potenciais (PP, kg ha⁻¹) resultantes do município de Londrina são apresentadas na Tabela 46, cujos valores para as cultivares de ciclo precoce, médio e tardio foram obtidos nas datas de semeadura de 30 de outubro, 20 de outubro e 20 de outubro com produtividades de 5284, 6617 e 7730 kg ha⁻¹, respectivamente. Contudo, os parâmetros empíricos da melhor época de semeadura, proporcionadas na Tabela 47, indicam que os maiores rendimentos são obtidos nos dias 3 de novembro, 24 de outubro e 14 de outubro e cujos valores são de 5276, 6600 e 7683 kg ha⁻¹, respectivamente.

Figura 27. Produtividade potencial (PP) média da cultura da soja para cultivares de ciclos precoce (100 dias), médio (120 dias) e tardio (140 dias) em função de 21 datas de semeadura, no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Londrina, PR.

Tabela 46. Produtividade potencial (PP) média da cultura da soja para cultivares de ciclos precoce (100 dias), médio (120 dias) e tardio (140 dias) em função de 21 datas de semeadura, no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Londrina, PR.

Ciclo	Data de semeadura																				
	10-Ago	20-Ago	30-Ago	10-Set	20-Set	30-Set	10-Out	20-Out	30-Out	10-Nov	20-Nov	30-Nov	10-Dez	20-Dez	30-Dez	10-Jan	20-Jan	30-Jan	10-Fev	20-Fev	28-Fev
Precoce	4682	4830	4946	5058	5138	5204	5242	5275	5284	5270	5244	5200	5156	5091	5026	4927	4820	4684	4511	4352	4206
Médio	6049	6186	6294	6406	6482	6554	6601	6617	6610	6582	6536	6453	6376	6279	6170	6018	5854	5671	5436	5241	5090
Tardio	7212	7345	7446	7558	7642	7695	7720	7730	7707	7638	7560	7448	7328	7181	7028	6825	6617	6401	6169	5973	5821

Perdas de 48,3; 58,7 e 64,6% para cultivares de ciclo precoce, médio e tardio, respectivamente, foram observadas nesta localidade, em base à relação de PR/PP.

Tabela 47. Parâmetros empíricos do modelo (a , b e c – kg ha^{-1}) de definição da melhor época de semeadura e data ótima de semeadura (dia juliano $Jo = -b/2a$) correspondente à produtividade potencial (PP, kg ha^{-1}) média máxima da cultura de soja, considerando diferentes cultivares de ciclos precoce (100 dias), médio (120 dias) e tardio (140 dias), em função de 21 datas de semeadura (J – dia juliano), no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Londrina, PR.

Ciclo	a	b	c	R ²	Dia	Jo	PP
Precoce	-0,0787	48,348	-2149,7	0,9984	3 de novembro	307,1	5276
Médio	-0,0964	57,312	-1918,7	0,9990	24 de outubro	297,3	6600
Tardio	-0,1051	60,302	-967,1	0,9952	14 de outubro	286,9	7683

Em base às probabilidades de se obter valores de produtividade potencial (PP) nas faixas de 3000 a 8000 kg ha^{-1} , foram observados que para todos os ciclos e épocas de semeadura os rendimentos são $\geq 4000 \text{ kg ha}^{-1}$. Para uma cultivar precoce, as chances de apresentar rendimentos $\geq 5000 \text{ kg ha}^{-1}$ só aconteceria se a soja fosse semeada desde o 30 de setembro a 10 de dezembro. Enquanto para uma cultivar de ciclo médio, as possibilidades de obter produtividades $\geq 6000 \text{ kg ha}^{-1}$ se produzem a partir de 30 de agosto a 20 de dezembro. E finalmente, para uma cultivar de ciclo tardio, os máximos valores ($\geq 7000 \text{ kg ha}^{-1}$) ocorrem desde o 20 de agosto a 10 de dezembro.

Tabela 48. Probabilidade (%) de se obter valores de produtividade potencial (PP) nas faixas de 3000 a 8000 kg ha⁻¹ e $\geq$ PP média, considerando diferentes cultivares de soja de ciclos precoce (100 dias), médio (120 dias) e tardio (140 dias), em função de 21 datas de semeadura (J – dia juliano), no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Londrina, PR.

PP	Ciclo	Data de semeadura																				
		10-Ago	20-Ago	30-Ago	10-Set	20-Set	30-Set	10-Out	20-Out	30-Out	10-Nov	20-Nov	30-Nov	10-Dez	20-Dez	30-Dez	10-Jan	20-Jan	30-Jan	10-Fev	20-Fev	28-Fev
≥ 3000	Precoce	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Médio	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Tardío	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
≥ 4000	Precoce	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	91
	Médio	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Tardío	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
≥ 5000	Precoce	7	25	36	59	75	86	88	89	89	88	86	86	82	75	54	30	21	7	0	0	0
	Médio	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	91	68
	Tardío	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
≥ 6000	Precoce	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	55	70	88	93	95	98	98	96	96	96	96	96	96	93	77	55	25	11	0	0	0
	Tardío	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	96	73	50	30
≥ 7000	Precoce	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	0	2	2	4	4	7	4	2	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Tardío	73	89	95	98	98	98	96	98	98	96	96	96	93	79	55	25	5	0	0	0	0
≥ 8000	Precoce	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Tardío	0	2	2	5	9	13	14	14	14	7	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\geq$ PP média	Precoce	45	41	45	48	48	45	48	54	54	52	54	54	46	48	50	48	46	48	48	45	48
	Médio	43	43	45	46	46	54	54	48	52	54	54	55	45	41	52	52	45	45	48	48	45
	Tardío	38	46	46	52	52	46	46	52	54	57	54	54	43	45	46	52	48	50	46	50	54

Em função de cultivares de ciclo precoce, médio e tardio sob diferentes níveis de armazenamento de água no solo (25, 50, 75, 100 e 125 mm), os valores de produtividade atingível (PA, kg ha⁻¹) resultantes para o município de Londrina são exibidos na Tabela 49. De modo geral, os maiores rendimentos para os ciclos mencionados foram obtidos em 30 de outubro, 20 de outubro e 30 de outubro, respectivamente. Porém, segundo os parâmetros empíricos da melhor época de semeadura, apresentados na Tabela 50, indicam que de modo geral, as maiores produtividades sob as condições citadas anteriormente são atingidas nos dias de semeadura de 8 e 9 de novembro, 31 de outubro e 1 de novembro e 23 de outubro para cultivares de ciclo precoce, médio e tardio, respectivamente.

Figura 28. Produtividade atingível (PA) média da cultura da soja para cultivares de ciclos precoce (100 dias), médio (120 dias) e tardio (140 dias) e CAD de 25, 50, 75, 100 e 125 mm em função de 21 datas de semeadura, no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Londrina, PR.

Tabela 49. Produtividade atingível (PA) média da cultura da soja para cultivares de ciclos precoce (100 dias), médio (120 dias) e tardio (140 dias) e CAD de 25, 50, 75, 100 e 125 mm em função de 21 datas de semeadura, no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Londrina, PR..

Data de semeadura	Ciclo														
	Precoce					Médio					Tardio				
	CAD					CAD					CAD				
	25	50	75	100	125	25	50	75	100	125	25	50	75	100	125
10-Ago	3559	3712	3806	3879	3939	4637	4834	4955	5046	5119	5392	5639	5785	5892	5980
20-Ago	3667	3834	3938	4018	4082	4749	4948	5068	5159	5235	5526	5765	5906	6011	6100
30-Ago	3751	3921	4027	4107	4174	4814	5016	5138	5230	5306	5662	5905	6042	6141	6223
10-Set	3828	3997	4100	4179	4245	4934	5125	5240	5328	5403	5810	6059	6198	6297	6376
20-Set	3882	4048	4152	4232	4299	5053	5250	5363	5447	5517	5955	6208	6351	6451	6529
30-Set	3992	4153	4249	4324	4387	5151	5358	5478	5565	5633	6113	6370	6510	6606	6679
10-Out	4062	4233	4334	4409	4468	5290	5500	5612	5695	5759	6152	6422	6572	6674	6750
20-Out	4173	4345	4444	4516	4572	5365	5585	5705	5788	5850	6178	6447	6599	6705	6785
30-Out	4242	4424	4526	4597	4651	5352	5572	5699	5789	5857	6203	6464	6611	6715	6794
10-Nov	4227	4411	4517	4593	4651	5350	5568	5691	5777	5843	6152	6411	6553	6658	6736
20-Nov	4226	4405	4507	4579	4636	5330	5540	5660	5745	5810	6032	6289	6436	6544	6627
30-Nov	4181	4358	4461	4534	4591	5255	5458	5574	5659	5725	5921	6166	6308	6413	6494
10-Dez	4158	4326	4423	4496	4552	5155	5358	5477	5564	5631	5783	6018	6156	6261	6343
20-Dez	4091	4259	4357	4429	4484	5039	5234	5349	5435	5504	5586	5817	5955	6059	6142
30-Dez	3998	4162	4261	4334	4393	4884	5078	5196	5285	5355	5379	5607	5745	5852	5937
10-Jan	3860	4024	4126	4203	4263	4691	4876	4991	5082	5156	5216	5430	5560	5660	5743
20-Jan	3717	3874	3973	4052	4116	4531	4710	4820	4908	4981	5051	5263	5394	5492	5571
30-Jan	3583	3733	3827	3903	3966	4359	4539	4653	4740	4812	4908	5119	5251	5347	5423
10-Fev	3401	3555	3656	3734	3798	4184	4362	4479	4566	4636	4784	4992	5123	5217	5290
20-Fev	3276	3427	3529	3607	3669	4068	4242	4355	4441	4508	4692	4895	5020	5110	5180
28-Fev	3178	3329	3430	3507	3567	4006	4177	4287	4368	4432	4608	4812	4937	5025	5094

Tabela 50. Parâmetros empíricos do modelo (a , b e c – kg ha^{-1}) de definição da melhor época de semeadura e data ótima de semeadura (dia juliano $J_o = -b/2a$) correspondente à produtividade atingível (PA, kg ha^{-1}) média máxima da cultura de soja, considerando diferentes cultivares de ciclos precoce (100 dias), médio (120 dias) e tardio (140 dias) e CAD de 25, 50, 75, 100 e 125 mm em função de 21 datas de semeadura (J – dia juliano), no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Londrina, PR.

Ciclo	CAD	a	b	c	R ²	Dia	J _o	PA
Precoce	25	-0,0864	54,091	-4273,3	0,9784	9 de novembro	313,0	4193
Precoce	50	-0,0886	55,475	-4311,9	0,9775	9 de novembro	313,1	4372
Precoce	75	-0,0886	55,490	-4212,1	0,9974	9 de novembro	313,1	4476
Precoce	100	-0,0881	55,161	-4084,8	0,9785	9 de novembro	313,1	4550
Precoce	125	-0,0874	54,692	-3948,8	0,9803	8 de novembro	312,9	4607
Médio	25	-0,1028	62,724	-4274,3	0,9705	1 de novembro	305,1	5294
Médio	50	-0,1056	64,364	-4308,0	0,9686	31 de outubro	304,8	5500
Médio	75	-0,1059	64,546	-4213,3	0,9681	31 de outubro	304,7	5622
Médio	100	-0,1058	64,428	-4105,4	0,9692	31 de outubro	304,5	5703
Médio	125	-0,1053	64,095	-3980,8	0,9711	31 de outubro	304,3	5773
Tardio	25	-0,1051	62,384	-3200,5	0,9394	23 de outubro	296,8	6057
Tardio	50	-0,1084	64,218	-3203,6	0,9374	23 de outubro	296,2	6307
Tardio	75	-0,1095	64,838	-3147,2	0,9376	23 de outubro	296,1	6451
Tardio	100	-0,1104	65,392	-3124,6	0,9398	23 de outubro	296,2	6559
Tardio	125	-0,1106	65,502	-3055,6	0,9427	23 de outubro	296,1	6643

Indica-se que para uma cultivar de ciclo precoce, em todas as épocas de semeadura e CAD simuladas, podem-se obter rendimentos de $PA \geq 3000 \text{ kg ha}^{-1}$. Para $CAD \leq 25 \text{ mm}$, são obtidos rendimentos $\geq 4000 \text{ kg ha}^{-1}$ se a soja for semeada a partir de 20 de outubro até 10 de dezembro. Para cada aumento de 25 mm na CAD até chegar a 125 mm da simulação, a semeadura é antecipada uma semana desde o primeiro decêndio de outubro e pode ser atrasada uma semana desde o 20 de dezembro para obter valores de $PA \geq 4000 \text{ kg ha}^{-1}$.

Tabela 51. Probabilidade (%) de se obter valores de produtividade atingível (PA) nas faixas de 2000 a 7000 kg ha⁻¹ e $\geq$ PA média, considerando uma cultivar de ciclo precoce (100 dias) e CAD de 25, 50, 75, 100 e 125 mm em função de 21 datas de semeadura (J – dia juliano), no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Londrina, PR.

PA	Ciclo	CAD	Data de semeadura																					
			10-Ago	20-Ago	30-Ago	10-Set	20-Set	30-Set	10-Out	20-Out	30-Out	10-Nov	20-Nov	30-Nov	10-Dez	20-Dez	30-Dez	10-Jan	20-Jan	30-Jan	10-Fev	20-Fev	28-Fev	
≥ 2000	Precoce	25	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	89	82
≥ 4000			2	2	5	27	29	50	68	80	86	80	79	80	80	70	57	29	4	2	0	0	0	0
≥ 5000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ 6000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			50	55	50	45	39	50	52	50	48	54	48	52	52	63	59	48	57	50	45	50	45	45
≥ 2000	Precoce	50	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	96	91	
≥ 4000			13	25	39	48	57	75	82	93	98	95	89	93	93	89	79	59	30	13	0	0	0	
≥ 5000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 6000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ PA média			52	55	55	48	48	57	52	55	50	50	54	57	57	63	61	54	55	50	46	50	50	
≥ 2000	Precoce	75	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	93	
≥ 4000			25	41	59	64	70	88	93	95	98	96	98	96	96	93	88	73	46	27	11	2	0	
≥ 5000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 6000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ PA média			50	54	52	48	50	54	57	55	54	54	52	59	55	61	57	52	55	52	46	54	52	
≥ 2000	Precoce	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	
≥ 4000			36	59	75	73	80	96	95	98	100	96	100	98	96	96	91	82	63	41	16	2	2	
≥ 5000			0	0	0	0	0	0	0	0	2	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 6000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ PA média			50	54	54	50	48	55	59	57	55	55	52	55	55	59	57	54	55	54	45	52	54	
≥ 2000	Precoce	125	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 4000			43	73	80	82	93	96	98	98	100	100	100	100	100	98	95	91	70	50	27	4	2	
≥ 5000			0	0	0	0	0	0	0	2	4	5	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 6000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ PA média			50	50	52	52	48	54	59	55	55	55	52	54	57	57	54	52	54	54	46	54	52	

Valores de PA ≥ 3000 kg ha⁻¹ são obtidos para uma cultivar de ciclo médio em todas as épocas de semeadura e CAD. Para níveis baixos de retenção de água no solo (CAD ≤ 25 mm), não existem limitações para obter rendimentos ≥ 5000 kg ha⁻¹ desde o 10 de outubro a 10 de dezembro. Para os solos com maior capacidade de armazenamento de água no solo, esse período foi definido a partir do mês de agosto a dezembro, variando em base ao conteúdo de água disponível no solo.

Tabela 52. Probabilidade (%) de se obter valores de produtividade atingível (PA) nas faixas de 2000 a 7000 kg ha⁻¹ e $\geq$ PA média, considerando uma cultivar de ciclo médio (120 dias) e CAD de 25, 50, 75, 100 e 125 mm em função de 21 datas de semeadura (J – dia juliano), no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Londrina, PR.

PA	Ciclo	CAD	Data de semeadura																					
			10-Ago	20-Ago	30-Ago	10-Set	20-Set	30-Set	10-Out	20-Out	30-Out	10-Nov	20-Nov	30-Nov	10-Dez	20-Dez	30-Dez	10-Jan	20-Jan	30-Jan	10-Fev	20-Fev	28-Fev	
≥ 2000	25		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 4000			100	100	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	95	73	59	54
≥ 5000			2	20	25	36	64	75	89	93	91	88	89	88	80	61	36	5	5	0	0	0	0	0
≥ 6000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			61	54	45	45	52	52	59	50	52	54	52	50	52	52	59	54	48	43	48	48	54	
≥ 2000	50		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 4000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	89	80	79	
≥ 5000			30	48	54	64	80	91	93	96	96	100	96	95	89	88	59	32	18	7	0	0	0	
≥ 6000			0	0	0	0	0	0	2	4	5	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			57	57	52	48	57	46	64	61	54	54	50	54	52	54	55	54	46	43	54	52	55	
≥ 2000	Médio	75	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 4000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	93	88	82	
≥ 5000			50	63	66	82	93	93	98	98	98	100	100	100	96	91	80	55	32	14	2	2	0	
≥ 6000			0	0	0	0	0	2	5	11	11	13	9	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			57	54	50	48	61	50	61	61	52	54	54	57	54	48	54	55	48	46	52	50	61	
≥ 2000	100		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 4000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	89	88	
≥ 5000			61	79	77	93	96	98	98	100	98	100	100	100	98	93	86	63	39	21	4	2	0	
≥ 6000			0	0	0	0	0	4	11	18	20	21	23	7	2	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			57	52	46	48	55	52	55	57	54	54	55	54	55	52	54	54	50	43	50	55	61	
≥ 2000	125		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 4000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	95	93		
≥ 5000			71	80	88	96	96	98	100	100	100	100	100	100	96	93	77	48	30	5	2	0		
≥ 6000			0	0	0	0	0	4	14	23	32	38	30	11	5	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			54	50	48	48	55	54	54	57	55	55	54	55	55	50	52	54	48	43	52	59	61	

Valores de PA ≥ 4000 kg ha⁻¹ foram observados para uma cultivar de ciclo tardio em todas as épocas de semeadura e diferentes CAD. Probabilidades de obter rendimentos ≥ 5000 kg ha⁻¹ existem para CAD ≤ 25 mm sob condições de semeadura entre as datas de 10 de agosto a 30 de dezembro. Para CAD mais elevadas, as possibilidades de obter rendimentos maiores a 6000 kg ha⁻¹ são superiores, tendo como datas limites de semeadura entre o 20 de setembro a 10 de novembro para CAD de 50 mm e de 30 de agosto a 10 de dezembro para CAD de 125 mm.

Tabela 53. Probabilidade (%) de se obter valores de produtividade atingível (PA) nas faixas de 2000 a 7000 kg ha⁻¹ e $\geq$ PA média, considerando uma cultivar de ciclo tardio (140 dias) e CAD de 25, 50, 75, 100 e 125 mm em função de 21 datas de semeadura (J – dia juliano), no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Londrina, PR.

PA	Ciclo	CAD	Data de semeadura																					
			10-Ago	20-Ago	30-Ago	10-Set	20-Set	30-Set	10-Out	20-Out	30-Out	10-Nov	20-Nov	30-Nov	10-Dez	20-Dez	30-Dez	10-Jan	20-Jan	30-Jan	10-Fev	20-Fev	28-Fev	
≥ 2000	Tardío	25	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 4000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 5000			93	96	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	88	75	52	39	27	14	5
≥ 6000			0	11	13	27	41	80	71	68	80	75	54	38	25	2	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			46	45	48	48	50	57	50	52	48	50	52	46	54	59	50	50	48	48	55	55	54	54
≥ 2000		50	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 4000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 5000	98		96	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	89	75	68	54	46	18	
≥ 6000	13		20	38	59	82	91	89	89	91	89	79	75	52	25	7	4	0	0	0	0	0	0	
≥ 7000	0		0	0	0	0	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ PA média	50		52	46	52	48	59	50	54	48	50	55	52	52	55	52	48	45	57	54	59	57	57	
≥ 2000	75	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		
≥ 3000		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		
≥ 4000		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		
≥ 5000		98	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	93	88	75	68	64	46		
≥ 6000		30	41	55	77	91	96	96	96	98	91	95	88	73	54	25	9	2	0	0	0	0	0	
≥ 7000		0	0	0	0	0	2	5	7	4	7	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ PA média		52	52	46	52	45	61	55	57	54	46	55	55	50	55	54	50	50	57	57	64	61	61	
≥ 2000	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		
≥ 3000		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		
≥ 4000		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		
≥ 5000		98	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	98	91	82	75	71	61		
≥ 6000		38	54	71	82	95	96	96	98	100	98	98	89	82	63	34	14	7	4	0	0	0	0	
≥ 7000		0	0	0	0	2	7	11	14	16	13	9	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ PA média		50	52	48	52	50	59	57	57	55	50	55	52	52	55	50	54	50	55	57	63	61	61	
≥ 2000	125	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		
≥ 3000		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		
≥ 4000		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		
≥ 5000		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	95	88	82	73	68		
≥ 6000		46	63	82	91	96	96	98	98	100	100	100	96	91	73	46	21	9	4	0	0	0	0	
≥ 7000		0	0	0	0	2	11	16	29	27	16	11	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ PA média		54	54	45	54	50	59	54	57	55	50	52	55	54	55	50	52	48	55	59	61	57	57	

4.6. Nova Cantu

Em base às condições climáticas das variáveis temperatura e precipitação obtidas de um histórico de 56 anos de dados para o município de Nova Cantu, e apresentadas na Figura 29, podem se observar elevados índices de precipitação, principalmente nos dois primeiros e nos três últimos meses do ano, atingindo um pico mínimo em agosto. Enquanto ao parâmetro temperatura, as máximas se apresentam nos meses com mais chuvas, e as mínimas se prolongam desde o mês de junho até agosto. Já no final do mês de setembro até meados de fevereiro, as condições climáticas começam a melhorar, a través das faixas de temperatura

ótimas e boa quantidade e distribuição de chuvas ao longo de todo o ciclo da soja, favorecendo o correto desenvolvimento da planta.

Figura 29. Variação sazonal da precipitação (mm) e temperaturas máxima, média e mínima do ar (°C) no período de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Nova Cantu, PR.

Segundo as análises probabilísticas realizadas para o parâmetro de deficiência hídrica, ressalta-se novamente a indisponibilidade hídrica ($ET_r/ET_c < 0,60$) apenas no mês de agosto, para o período de simulação. Enquanto que para as condições climáticas extremas apresentadas anteriormente, não se observam temperaturas extremas elevadas ($>40\text{ }^{\circ}\text{C}$) em nenhum dos decêndios estudados, porém existem altas probabilidades de se apresentarem temperaturas baixas ($<10\text{ }^{\circ}\text{C}$). Para uma cultivar de ciclo precoce, o risco de baixas temperaturas ao longo do ciclo é observado no mês de agosto até o primeiro decêndio de setembro e logo no mês de fevereiro. Uma cultivar de ciclo médio, pode sofrer risco de temperaturas mínimas que afetem o seu desenvolvimento se semeadas a partir do segundo decêndio de janeiro e também no mês de agosto e princípios de setembro. Finalmente, para uma cultivar tardia, os meses de agosto e inícios de setembro, além do terceiro decêndio de dezembro, são os períodos mais críticos em relação a temperaturas muito baixas desfavoráveis para a cultura.

Tabela 54. Probabilidade (%) de se obter valores médios de temperatura (T) sob condições de $10 > T > 40$ °C, $20 < T < 30$ °C e dias com T ótima para cultivares de soja de ciclos precoce (100 dias), médio (120 dias) e tardio (140 dias) em função de 21 decêndios no período de agosto a fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Nova Cantu, PR.

Ciclo	Condição	Decêndio																				
		Ago			Set			Out			Nov			Dez			Jan			Fev		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
		%																				
Precoce	$T > 40$ °C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$T < 10$ °C	98	98	98	91	77	55	43	36	25	16	11	7	7	18	29	54	57	77	89	95	96
	$20^{\circ}\text{C} < T < 30^{\circ}\text{C}$	0	2	5	14	30	57	71	86	91	98	98	100	100	100	95	89	75	43	9	0	0
	Dias com T ótima	64	70	75	80	85	89	92	95	96	98	98	99	99	98	97	95	92	86	80	72	67
Médio	$T > 40$ °C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$T < 10$ °C	98	98	98	91	79	55	43	36	27	18	14	20	20	52	57	77	86	95	96	96	98
	$20^{\circ}\text{C} < T < 30^{\circ}\text{C}$	2	4	7	23	41	70	80	89	96	100	100	98	98	95	80	54	27	2	0	0	0
	Dias com T ótima	70	75	79	83	87	91	94	96	97	98	98	98	97	96	93	89	84	78	71	65	60
Tardio	$T > 40$ °C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$T < 10$ °C	98	98	98	91	79	55	45	38	29	29	32	52	52	75	86	95	96	96	100	98	100
	$20^{\circ}\text{C} < T < 30^{\circ}\text{C}$	5	9	14	32	63	71	84	93	98	98	95	95	95	64	34	7	0	0	0	0	0
	Dias com T ótima	74	78	82	86	89	92	94	96	97	97	97	96	94	91	86	81	76	70	65	59	56

Para o município de Nova Cantu, os valores de produtividade potencial (PP, kg ha⁻¹) obtidos são apresentados na Tabela 55, onde indica que para as cultivares de ciclo precoce, médio e tardio, os maiores rendimentos são observados nas datas de semeadura de 10 de novembro, 20 de outubro e 20 de outubro com valores de 5353, 6677 e 7755 kg ha⁻¹, respectivamente, porém, segundo os parâmetros empíricos da melhor época de semeadura, exibidas na Tabela 56, as maiores produtividades foram obtidas nos dias 6 de novembro, 27 de outubro e 16 de outubro e cujos valores são 5337, 6658 e 7727 kg ha⁻¹, respectivamente.

Figura 30. Produtividade potencial (PP) média da cultura da soja para cultivares de ciclos precoce (100 dias), médio (120 dias) e tardio (140 dias) em função de 21 datas de semeadura, no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Nova Cantu, PR.

Tabela 55. Produtividade potencial (PP) média da cultura da soja para cultivares de ciclos precoce (100 dias), médio (120 dias) e tardio (140 dias) em função de 21 datas de semeadura, no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Nova Cantu, PR.

Ciclo	Data de semeadura																				
	10-Ago	20-Ago	30-Ago	10-Set	20-Set	30-Set	10-Out	20-Out	30-Out	10-Nov	20-Nov	30-Nov	10-Dez	20-Dez	30-Dez	10-Jan	20-Jan	30-Jan	10-Fev	20-Fev	28-Fev
Precoce	4525	4694	4839	4981	5095	5196	5263	5324	5347	5353	5318	5279	5216	5127	5027	4889	4734	4561	4352	4160	3995
Médio	5881	6058	6214	6369	6481	6580	6642	6677	6668	6654	6596	6507	6405	6276	6116	5920	5715	5490	5211	4968	4790
Tardio	7076	7262	7409	7558	7660	7731	7757	7775	7747	7680	7587	7460	7304	7126	6927	6682	6418	6149	5859	5615	5441

Foram estimadas perdas de produtividade de 45,5; 56,3 e 62,3% para cultivares de ciclo precoce, média e tardia, quando a PR foi comparada com as PP obtidas neste trabalho.

Tabela 56. Parâmetros empíricos do modelo (a , b e c – kg ha^{-1}) de definição da melhor época de semeadura e data ótima de semeadura ($\text{dia juliano } J_o = -b/2a$) correspondente à produtividade potencial (PP , kg ha^{-1}) média máxima da cultura de soja, considerando diferentes cultivares de ciclos precoce (100 dias), médio (120 dias) e tardio (140 dias), em função de 21 datas de semeadura (J – dia juliano), no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Nova Cantu, PR.

Ciclo	a	b	c	R ²	Dia	Jo	PP
Precoce	-0,1056	65,483	-4814,5	0,9992	6 de novembro	310,1	5337
Médio	-0,1259	75,558	-4678,7	0,9982	27 de outubro	300,1	6658
Tardio	-0,1333	77,051	-3407,7	0,9947	16 de outubro	289,0	7727

Em função das probabilidades de se obter determinados valores de PP , em todos os ciclos da cultura e épocas de semeadura foram observados rendimentos $\geq 3000 \text{ kg ha}^{-1}$. No caso de uma cultivar precoce, para obter elevadas probabilidades de observar rendimentos $\geq 5000 \text{ kg ha}^{-1}$, a soja deve ser semeada a partir de 30 de setembro a 10 de dezembro. Para o ciclo médio, as datas preferenciais de semeadura para obter produtividades $\geq 6000 \text{ kg ha}^{-1}$ devem produzir-se em 30 de agosto a 20 de dezembro. Enquanto para uma cultivar de ciclo tardio, podendo atingir valores $\geq 7000 \text{ kg ha}^{-1}$, as datas de semeadura devem iniciar-se a partir de 20 de agosto a 10 de dezembro.

Tabela 57. Probabilidade (%) de se obter valores de produtividade potencial (PP) nas faixas de 3000 a 8000 kg ha⁻¹ e $\geq$ PP média, considerando diferentes cultivares de soja de ciclos precoce (100 dias), médio (120 dias) e tardio (140 dias), em função de 21 datas de semeadura (J – dia juliano), no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Nova Cantu, PR.

PP	Ciclo	Data de semeadura																				
		10-Ago	20-Ago	30-Ago	10-Set	20-Set	30-Set	10-Out	20-Out	30-Out	10-Nov	20-Nov	30-Nov	10-Dez	20-Dez	30-Dez	10-Jan	20-Jan	30-Jan	10-Fev	20-Fev	28-Fev
≥ 3000	Precoce	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Médio	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Tardío	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
≥ 4000	Precoce	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	95	82	50
	Médio	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Tardío	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
≥ 5000	Precoce	0	4	18	50	73	86	88	95	93	95	93	93	84	64	50	32	2	2	0	0	0
	Médio	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	96	82	46	21
	Tardío	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	93	93
≥ 6000	Precoce	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	23	57	84	95	98	98	98	100	98	98	98	96	95	86	63	36	9	2	0	0	0
	Tardío	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	95	71	32	11	0
≥ 7000	Precoce	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	0	0	4	9	11	11	11	13	11	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Tardío	59	88	96	98	98	100	100	98	98	98	96	93	89	63	41	11	2	0	0	0	0
≥ 8000	Precoce	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Tardío	0	0	2	9	13	16	18	23	18	16	9	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\geq$ PP média	Precoce	50	48	52	52	52	46	52	48	50	45	45	41	43	45	48	46	52	55	50	50	50
	Médio	54	48	50	48	52	48	54	52	46	45	43	45	48	50	46	48	48	57	50	46	54
	Tardío	45	50	52	52	50	50	50	50	45	46	43	48	48	50	54	48	50	54	48	54	54

Os valores de produtividade atingível (PA, kg ha⁻¹) obtidos para o município de Nova Cantu são apresentados na Tabela 58, indicando que para as cultivares de ciclo precoce, médio e tardio sob condições de diferentes valores de armazenamento de água no solo de 25, 50, 75, 100 e 125 mm, os maiores rendimentos resultantes de modo geral são obtidos nas datas de semeadura de 10 de novembro, 20 de outubro e 20 de outubro, respectivamente. Não obstante, os parâmetros empíricos da melhor época de semeadura, observados na Tabela 59, indicam que os maiores rendimentos sob essas condições são obtidos em forma geral nos dias 5 a 7 de novembro, 27 a 29 de outubro e 19 a 21 de outubro, respectivamente para cultivares de ciclo precoce, médio e tardio.

Figura 31. Produtividade atingível (PA) média da cultura da soja para cultivares de ciclos precoce (100 dias), médio (120 dias) e tardio (140 dias) e CAD de 25, 50, 75, 100 e 125 mm em função de 21 datas de semeadura, no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Nova Cantu, PR.

Tabela 58. Produtividade atingível (PA) média da cultura da soja para cultivares de ciclos precoce (100 dias), médio (120 dias) e tardio (140 dias) e CAD de 25, 50, 75, 100 e 125 mm em função de 21 datas de semeadura, no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Nova Cantu, PR.

Data de semeadura	Ciclo														
	Precoce					Médio					Tardio				
	CAD					CAD					CAD				
	25	50	75	100	125	25	50	75	100	125	25	50	75	100	125
10-Ago	3585	3760	3858	3928	3984	4707	4933	5057	5144	5211	5468	5748	5909	6023	6112
20-Ago	3729	3915	4018	4091	4147	4804	5036	5168	5262	5333	5605	5875	6031	6141	6231
30-Ago	3813	4010	4121	4198	4258	4883	5110	5243	5337	5413	5729	5991	6140	6244	6332
10-Set	3870	4062	4176	4257	4322	4985	5198	5325	5417	5493	5824	6076	6223	6326	6412
20-Set	3925	4106	4218	4298	4365	5087	5292	5413	5499	5572	5957	6203	6344	6442	6522
30-Set	4024	4194	4299	4374	4438	5180	5381	5501	5585	5655	6054	6302	6439	6537	6613
10-Out	4100	4267	4366	4438	4497	5274	5474	5588	5671	5737	6071	6324	6463	6563	6640
20-Out	4176	4344	4442	4514	4572	5314	5519	5634	5718	5785	6090	6340	6484	6586	6667
30-Out	4207	4377	4475	4547	4606	5285	5491	5612	5701	5771	6095	6343	6485	6587	6667
10-Nov	4207	4378	4480	4556	4617	5308	5510	5627	5713	5781	6099	6342	6482	6579	6656
20-Nov	4192	4359	4459	4533	4592	5271	5472	5592	5679	5748	6043	6290	6434	6532	6609
30-Nov	4153	4324	4428	4505	4566	5245	5439	5556	5639	5705	5934	6184	6329	6428	6505
10-Dez	4140	4303	4403	4477	4535	5188	5385	5502	5583	5648	5808	6054	6198	6295	6372
20-Dez	4118	4279	4375	4443	4497	5061	5266	5385	5466	5530	5651	5898	6040	6136	6210
30-Dez	4022	4191	4291	4360	4414	4919	5121	5240	5321	5384	5434	5684	5825	5925	6001
10-Jan	3879	4050	4151	4221	4276	4694	4898	5017	5102	5168	5255	5495	5627	5720	5792
20-Jan	3712	3881	3982	4055	4112	4520	4716	4829	4910	4975	5096	5325	5449	5538	5607
30-Jan	3546	3713	3810	3882	3938	4375	4564	4669	4747	4808	4929	5155	5275	5360	5426
10-Fev	3408	3567	3657	3724	3779	4186	4375	4480	4553	4611	4762	4979	5099	5182	5244
20-Fev	3275	3436	3528	3592	3644	4044	4226	4329	4401	4455	4624	4834	4952	5033	5093
28-Fev	3174	3331	3420	3483	3532	3947	4122	4222	4292	4344	4522	4727	4842	4921	4979

Tabela 59. Parâmetros empíricos do modelo (a , b e c – kg ha^{-1}) de definição da melhor época de semeadura e data ótima de semeadura ($\text{dia juliano } J_o = -b/2a$) correspondente à produtividade atingível (PA , kg ha^{-1}) média máxima da cultura de soja, considerando diferentes cultivares de ciclos precoce (100 dias), médio (120 dias) e tardio (140 dias) e CAD de 25, 50, 75, 100 e 125 mm em função de 21 datas de semeadura (J – dia juliano), no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Nova Cantu, PR.

Ciclo	CAD	a	b	c	R ²	Dia	Jo	PA
Precoce	25	-0,0829	51,588	-3826,6	0,9821	7 de novembro	311,1	4199
Precoce	50	-0,0824	51,157	-3567,4	0,9829	6 de novembro	310,4	4373
Precoce	75	-0,0829	51,352	-3485,6	0,9841	5 de novembro	309,7	4467
Precoce	100	-0,0833	51,610	-3445,2	0,9854	5 de novembro	309,8	4549
Precoce	125	-0,0839	51,924	-3429,0	0,9870	5 de novembro	309,4	4605
Médio	25	-0,0985	59,594	-3728,1	0,9839	29 de outubro	302,5	5286
Médio	50	-0,0981	59,179	-3429,0	0,9853	28 de outubro	301,6	5496
Médio	75	-0,0985	59,279	-3307,8	0,9861	27 de outubro	300,9	5611
Médio	100	-0,0988	59,433	-3233,6	0,9869	27 de outubro	300,8	5704
Médio	125	-0,0994	59,687	-3193,3	0,9880	27 de outubro	300,2	5767
Tardio	25	-0,1023	60,328	-2849,8	0,9760	21 de outubro	294,9	6044
Tardio	50	-0,1031	60,601	-2606,0	0,9794	20 de outubro	293,9	6299
Tardio	75	-0,1037	60,852	-2478,3	0,9806	20 de outubro	293,4	6449
Tardio	100	-0,1041	60,987	-2380,9	0,9815	19 de outubro	292,9	6551
Tardio	125	-0,1045	61,086	-2298,6	0,9826	19 de outubro	292,3	6628

Na Tabela 60, pode-se observar que em função de uma cultivar precoce obtém-se elevadas probabilidades de rendimentos de $PA \geq 3000 \text{ kg ha}^{-1}$ em todas as épocas de semeadura e capacidades de armazenamento de água. Embora, as probabilidades de alcançar valores $\geq 4000 \text{ kg ha}^{-1}$ sejam muito baixas com disponibilidade hídrica menor do que 25 mm, pode-se obter semeando a soja nas datas de 20 de outubro a 10 de novembro. Porém, para condições de maior retenção hídrica no solo ($>75 \text{ mm}$) existe uma faixa de semeadura entre o 20 de agosto e 10 de janeiro para obter rendimentos superiores a 4000 kg ha^{-1} .

Tabela 60. Probabilidade (%) de se obter valores de produtividade atingível (PA) nas faixas de 2000 a 7000 kg ha⁻¹ e $\geq$ PA média, considerando uma cultivar de ciclo precoce (100 dias) e CAD de 25, 50, 75, 100 e 125 mm em função de 21 datas de semeadura (J – dia juliano), no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Nova Cantu, PR.

PA	Ciclo	CAD	Data de semeadura																					
			10-Ago	20-Ago	30-Ago	10-Set	20-Set	30-Set	10-Out	20-Out	30-Out	10-Nov	20-Nov	30-Nov	10-Dez	20-Dez	30-Dez	10-Jan	20-Jan	30-Jan	10-Fev	20-Fev	28-Fev	
≥ 2000	Precoce	25	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	86	79
≥ 4000			2	7	13	27	39	54	68	80	86	84	77	70	73	68	55	29	11	0	0	0	0	0
≥ 5000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ 6000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			54	50	55	52	54	52	55	55	50	46	55	46	52	50	48	50	48	50	48	54	59	
≥ 2000	Precoce	50	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	96	89	
≥ 4000			14	34	52	66	71	75	80	86	91	95	93	91	86	86	82	63	27	13	0	0	0	
≥ 5000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 6000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ PA média			57	50	52	54	63	55	54	57	52	52	59	50	57	52	48	50	50	48	45	54	59	
≥ 2000	Precoce	75	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	95	
≥ 4000			27	55	73	77	79	80	88	88	95	95	95	95	89	86	88	75	46	21	4	0	0	
≥ 5000			0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 6000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ PA média			63	50	52	57	63	55	55	55	52	57	57	57	55	54	50	50	50	48	48	54	57	
≥ 2000	Precoce	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	98	
≥ 4000			45	75	88	88	84	88	93	93	100	100	98	98	96	91	88	86	57	25	13	2	0	
≥ 5000			0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 6000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ PA média			63	52	48	57	63	55	57	55	54	57	55	61	55	52	50	54	48	48	48	52	55	
≥ 2000	Precoce	125	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98		
≥ 4000			59	80	93	93	93	95	96	96	100	100	100	98	96	96	91	91	75	30	27	2	0	
≥ 5000			0	0	0	0	0	0	0	7	5	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 6000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ PA média			61	50	45	57	61	57	54	59	55	55	57	61	55	52	50	54	50	52	45	52	55	

Para uma cultivar de ciclo médio, em todas as épocas de semeadura e diferentes capacidades de retenção de água nos solos são obtidos valores ≥ 3000 kg ha⁻¹. Para CAD ≤ 25 mm, existem limitações de se obter PA ≥ 5000 kg ha⁻¹, sendo que para atingir esse valor a soja deve ser semeada a partir de 10 de outubro a 30 de novembro. Enquanto aos solos com maior capacidade de retenção água (≥ 100 mm) as probabilidades aumentam para obter o rendimento antes mencionado, sendo a semeadura da soja limitada entre as datas 10 de agosto a 30 de dezembro.

Tabela 61. Probabilidade (%) de se obter valores de produtividade atingível (PA) nas faixas de 2000 a 7000 kg ha⁻¹ e $\geq$ PA média, considerando uma cultivar de ciclo médio (120 dias) e CAD de 25, 50, 75, 100 e 125 mm em função de 21 datas de semeadura (J – dia juliano), no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Nova Cantu, PR.

PA	Ciclo	CAD	Data de semeadura																					
			10-Ago	20-Ago	30-Ago	10-Set	20-Set	30-Set	10-Out	20-Out	30-Out	10-Nov	20-Nov	30-Nov	10-Dez	20-Dez	30-Dez	10-Jan	20-Jan	30-Jan	10-Fev	20-Fev	28-Fev	
≥ 2000	25		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 4000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	96	79	64	45
≥ 5000			7	21	34	55	57	79	88	89	88	86	79	82	73	63	38	11	2	0	0	0	0	0
≥ 6000			0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			48	48	55	55	52	59	54	54	52	50	52	45	52	52	50	52	52	52	52	52	57	54
≥ 2000	50		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 4000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	86	80	71	
≥ 5000			39	54	70	77	77	84	91	98	96	95	93	93	88	84	75	30	14	4	0	0	0	
≥ 6000			0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ PA média			52	48	57	55	55	57	59	52	52	52	55	50	52	52	50	54	50	50	54	59	57	
≥ 2000	Médio	75	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 4000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	95	86	77	
≥ 5000			63	75	80	82	88	88	93	98	96	96	95	96	89	89	82	57	25	14	0	0	0	
≥ 6000			0	0	0	0	0	2	5	2	4	7	5	5	5	2	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ PA média			54	48	55	55	52	57	59	52	50	55	55	52	52	52	52	54	52	48	52	57	54	
≥ 2000	100		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 4000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	89	88	
≥ 5000			70	86	88	88	95	89	98	98	100	98	98	96	95	89	91	66	30	21	4	0	0	
≥ 6000			0	0	0	4	4	11	13	13	9	14	13	7	11	4	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ PA média			52	50	54	50	48	57	55	54	52	59	61	57	52	52	52	52	54	45	52	54	52	
≥ 2000	125		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 4000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	95	93		
≥ 5000			82	95	95	93	98	96	100	100	100	100	98	98	98	93	91	79	43	27	9	0	0	
≥ 6000			0	0	0	5	9	16	18	23	18	18	14	11	7	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ PA média			50	50	50	48	50	57	55	54	52	55	61	57	54	52	48	54	50	45	54	52	54	

Elevadas probabilidades de se obter produtividades ≥ 4000 kg ha⁻¹ foram observadas para uma cultivar de ciclo tardio para todas as diferentes condições de CAD e épocas de semeadura. Para os solos com CAD ≤ 25 mm, rendimentos ≥ 5000 kg ha⁻¹ podem ser obtidos até semeaduras de 10 de agosto até 30 de dezembro. Por fim, para solos com maiores capacidades de armazenamento de água, a semeadura da soja pode ser feita a partir de 20 de agosto a 20 de dezembro.

Tabela 62. Probabilidade (%) de se obter valores de produtividade atingível (PA) nas faixas de 2000 a 7000 kg ha⁻¹ e $\geq$ PA média, considerando uma cultivar de ciclo tardio (140 dias) e CAD de 25, 50, 75, 100 e 125 mm em função de 21 datas de semeadura (J – dia juliano), no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Nova Cantu, PR.

PA	Ciclo	CAD	Data de semeadura																					
			10-Ago	20-Ago	30-Ago	10-Set	20-Set	30-Set	10-Out	20-Out	30-Out	10-Nov	20-Nov	30-Nov	10-Dez	20-Dez	30-Dez	10-Jan	20-Jan	30-Jan	10-Fev	20-Fev	28-Fev	
≥ 2000	Tardío	25	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 4000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	98	98
≥ 5000			95	96	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	96	79	59	41	21	4	0
≥ 6000			4	13	23	36	43	63	59	57	66	61	52	43	27	9	2	0	0	0	0	0	0	0
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			50	54	54	54	57	57	52	46	48	48	48	57	48	46	48	50	50	54	52	57	50	50
≥ 2000	Tardío	50	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 4000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	98	98	
≥ 5000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	96	86	70	46	32	13	
≥ 6000			16	32	50	61	82	80	91	91	88	84	84	73	59	38	14	5	0	0	0	0	0	0
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			52	55	52	57	57	54	48	45	46	48	52	55	54	55	54	54	52	55	57	54	57	57
≥ 2000	Tardío	75	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 4000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	98	98	
≥ 5000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	89	80	70	46	29	
≥ 6000			43	64	70	71	86	91	95	93	91	93	86	86	79	59	27	9	2	0	0	0	0	0
≥ 7000			0	0	0	0	2	0	2	4	9	7	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			52	48	50	59	59	52	52	45	45	48	54	54	54	54	57	54	52	55	59	54	54	54
≥ 2000	Tardío	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 4000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	98	
≥ 5000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	93	86	71	57	46	
≥ 6000			57	77	75	77	86	91	98	95	96	93	91	88	86	68	39	20	7	0	0	0	0	0
≥ 7000			0	0	0	0	4	2	2	13	14	11	7	2	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			55	52	50	59	61	55	52	46	50	48	54	57	50	52	55	54	50	54	52	50	54	54
≥ 2000	Tardío	125	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 4000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 5000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	89	75	64	50	
≥ 6000			64	82	82	80	91	93	98	96	96	96	95	91	88	80	54	29	11	0	0	0	0	0
≥ 7000			0	0	0	2	4	9	9	20	14	18	14	7	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			54	54	52	55	61	57	54	46	52	54	54	57	50	52	54	54	54	52	50	50	55	55

4.7. Pato Branco

Em função das variações sazonais de precipitação e temperatura no município de Pato Branco, apresentados na Figura 32, pode-se notar o elevado índice de chuvas ao longo do ano, porém com períodos de menores quantidades no mês de agosto. Enquanto às temperaturas, as máximas não ultrapassam os 30 °C e as mínimas podem atingir valores até menores do que 10 °C nos meses de julho e agosto. Condições ideais para o bom desenvolvimento da soja como temperaturas ótimas e boa distribuição e quantidade de água, são observadas a partir do segundo decêndio do mês de setembro até finais de janeiro.

Figura 32. Variação sazonal da precipitação (mm) e temperaturas máxima, média e mínima do ar (°C) no período de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Pato Branco, PR.

Considerando o período de simulação, a localidade de Pato Branco apresenta também deficiência hídrica só no período de agosto ($ET_r/ET_c < 0,60$). Como mencionado anteriormente, não são observadas condições extremas de temperaturas superiores a 40 °C que possam afetar a soja, porém, para cultivares de ciclo precoce, apenas entre o segundo decêndio de outubro e o primeiro decêndio de janeiro, não corre risco de sofrer temperaturas muito baixas que possam impedir o contínuo crescimento da planta. Para cultivares de ciclo médio, as mesmas condições são observadas desde o segundo decêndio de outubro a segundo decêndio de dezembro. E finalmente, para cultivares de ciclo tardio, esses princípios acontecem desde o segundo decêndio de outubro ao primeiro decêndio de dezembro.

Tabela 63. Probabilidade (%) de se obter valores médios de temperatura (T) sob condições de $10 > T > 40$ °C, $20 < T < 30$ °C e dias com T ótima para cultivares de soja de ciclos precoce (100 dias), médio (120 dias) e tardio (140 dias) em função de 21 decêndios no período de agosto a fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Pato Branco, PR.

Ciclo	Condição	Decêndio																				
		Ago			Set			Out			Nov			Dez			Jan			Fev		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
		%																				
Precoce	T>40 °C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	T<10 °C	100	100	100	100	98	91	82	70	63	54	34	23	23	25	48	75	82	93	95	100	100
	20°C<T<30 °C	0	0	0	0	2	2	14	27	43	66	82	91	91	84	98	98	18	2	0	0	0
	Dias com T ótima	40	47	53	60	66	73	78	84	87	91	93	94	95	94	90	85	81	73	64	55	48
Médio	T>40 °C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	T<10 °C	100	100	100	100	100	91	82	70	63	54	36	36	36	70	82	93	95	100	100	100	100
	20°C<T<30 °C	0	0	0	2	2	5	18	30	52	75	82	82	82	50	23	4	2	2	0	0	0
	Dias com T ótima	48	54	59	66	71	77	82	86	89	92	93	93	92	89	84	77	71	64	56	48	42
Tardio	T>40 °C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	T<10 °C	100	100	100	100	100	91	82	70	64	61	61	77	77	93	95	100	100	100	100	100	100
	20°C<T<30 °C	0	0	0	2	2	9	25	39	54	68	66	50	50	7	2	2	2	0	0	0	0
	Dias com T ótima	54	59	64	70	75	80	84	87	89	91	91	89	85	80	75	68	62	56	49	42	37

As produtividades potenciais (PP, kg ha⁻¹) resultantes para o município de Pato Branco são apresentadas na Tabela 64, cujos maiores valores para as cultivares de ciclo precoce, médio e tardio são obtidos nas datas de semeadura 10 de novembro, 20 de outubro e 20 de outubro com rendimentos de 5462, 6802 e 7908 kg ha⁻¹, respectivamente, embora os parâmetros empíricos da melhor época de semeadura, apresentadas na Tabela 65, indiquem que as maiores produtividades são obtidas nos dias 9 de novembro, 29 de outubro e 19 de outubro com valores de 5448, 6779 e 7842 kg ha⁻¹, respectivamente.

Figura 33. Produtividade potencial (PP) média da cultura da soja para cultivares de ciclos precoce (100 dias), médio (120 dias) e tardio (140 dias) em função de 21 datas de semeadura, no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Pato Branco, PR.

Tabela 64. Produtividade potencial (PP) média da cultura da soja para cultivares de ciclos precoce (100 dias), médio (120 dias) e tardio (140 dias) em função de 21 datas de semeadura, no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Pato Branco, PR.

Ciclo	Data de semeadura																				
	10-Ago	20-Ago	30-Ago	10-Set	20-Set	30-Set	10-Out	20-Out	30-Out	10-Nov	20-Nov	30-Nov	10-Dez	20-Dez	30-Dez	10-Jan	20-Jan	30-Jan	10-Fev	20-Fev	28-Fev
Precoce	4320	4557	4769	4975	5136	5268	5369	5432	5450	5462	5412	5365	5290	5186	5067	4905	4726	4524	4275	4030	3824
Médio	5708	5954	6175	6388	6557	6683	6766	6802	6793	6775	6703	6597	6471	6322	6147	5905	5654	5381	5036	4735	4515
Tardio	6939	7184	7403	7605	7753	7848	7888	7908	7881	7801	7682	7535	7358	7145	6908	6603	6272	5952	5597	5293	5067

A relação PR/PP permite estimar perdas de produtividade de 51; 60,6 e 66,1% para cultivares de ciclo precoce, médio e tardio, respectivamente, referente à localidade de Pato Branco.

Tabela 65. Parâmetros empíricos do modelo (a , b e c – kg ha^{-1}) de definição da melhor época de semeadura e data ótima de semeadura (dia juliano $J_o = -b/2a$) correspondente à produtividade potencial (PP, kg ha^{-1}) média máxima da cultura de soja, considerando diferentes cultivares de ciclos precoce (100 dias), médio (120 dias) e tardio (140 dias), em função de 21 datas de semeadura (J – dia juliano), no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Pato Branco, PR.

Ciclo	a	b	c	R ²	Dia	Jo	PP
Precoce	-0,1337	83,579	-7614,0	0,9977	9 de novembro	312,6	5448
Médio	-0,1592	96,313	-7787,6	0,9973	29 de outubro	302,5	6779
Tardio	-0,1692	98,750	-6566,3	0,9941	19 de outubro	291,8	7842

Segundo às probabilidades de atingir valores $\geq 3000 \text{ kg ha}^{-1}$, observa-se que para todos os ciclos da cultura e épocas de semeadura esse valor é alcançado. Para uma cultivar de ciclo precoce, existe ainda possibilidade de obter rendimentos superiores a 5000 kg ha^{-1} , devendo a soja ser semeada a partir de 30 de setembro a 10 de dezembro. Para uma cultivar de ciclo médio, essa produtividade pode chegar até 6000 kg ha^{-1} , considerando a data de semeadura desde o 30 de agosto a 20 de dezembro. E para uma cultivar tardia, valores $\geq 7000 \text{ kg ha}^{-1}$, podem ser obtidos e são observados em semeaduras desde o 30 de agosto a 10 de dezembro.

Tabela 66. Probabilidade (%) de se obter valores de produtividade potencial (PP) nas faixas de 3000 a 8000 kg ha⁻¹ e $\geq$ PP média, considerando diferentes cultivares de soja de ciclos precoce (100 dias), médio (120 dias) e tardio (140 dias), em função de 21 datas de semeadura (J – dia juliano), no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Pato Branco, PR.

PP	Ciclo	Data de semeadura																				
		10-Ago	20-Ago	30-Ago	10-Set	20-Set	30-Set	10-Out	20-Out	30-Out	10-Nov	20-Nov	30-Nov	10-Dez	20-Dez	30-Dez	10-Jan	20-Jan	30-Jan	10-Fev	20-Fev	28-Fev
≥ 3000	Precoce	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Médio	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Tardío	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
≥ 4000	Precoce	95	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	96	59	18
	Médio	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98
	Tardío	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
≥ 5000	Precoce	0	0	16	50	79	88	96	98	98	100	98	96	95	73	63	29	9	0	0	0	0
	Médio	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	96	54	13	0
	Tardío	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	91	63
≥ 6000	Precoce	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	11	46	80	95	100	100	100	100	100	100	100	100	100	96	66	27	5	0	0	0	0
	Tardío	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	91	39	2	0	0
≥ 7000	Precoce	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	0	2	7	9	21	25	21	20	14	9	5	0	0	0	0	0	0	0	0
	Tardío	43	73	95	98	100	100	100	100	100	100	100	100	95	66	34	5	0	0	0	0	0
≥ 8000	Precoce	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Tardío	0	0	2	11	20	27	27	30	30	30	11	9	2	0	0	0	0	0	0	0	0
$\geq$ PP média	Precoce	54	54	52	52	48	55	50	45	45	45	38	45	39	45	46	43	46	45	48	50	46
	Médio	52	50	48	50	45	45	46	45	43	45	38	45	45	43	45	43	46	46	46	46	55
	Tardío	54	48	46	45	41	48	43	45	41	41	41	43	45	43	48	43	41	48	46	57	50

Na Tabela 67, são proporcionados os valores de produtividade atingível (PA, kg ha⁻¹) obtidos no município de Pato Branco em função de cultivares de ciclo precoce, médio e tardio sob diferentes níveis de armazenamento de água no solo (25, 50, 75, 100 e 125 mm). As maiores produtividades resultantes em forma geral para esses três diferentes ciclos foram observadas em 10 de novembro, 20 de outubro e 30 de outubro, respectivamente. Contudo, segundo os parâmetros empíricos da melhor época de semeadura, apresentados na Tabela 68, pode-se observar que em forma geral os maiores rendimentos sob essas condições foram obtidos nos dias de semeadura de 2 a 3 de novembro, 23 a 25 de outubro e 14 a 18 de outubro, respectivamente para uma cultivar de ciclo precoce, médio e tardio.

Figura 34. Produtividade atingível (PA) média da cultura da soja para cultivares de ciclos precoce (100 dias), médio (120 dias) e tardio (140 dias) e CAD de 25, 50, 75, 100 e 125 mm em função de 21 datas de semeadura, no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Pato Branco, PR.

Tabela 67. Produtividade atingível (PA) média da cultura da soja para cultivares de ciclos precoce (100 dias), médio (120 dias) e tardio (140 dias) e CAD de 25, 50, 75, 100 e 125 mm em função de 21 datas de semeadura, no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Pato Branco, PR.

Data de semeadura	Ciclo														
	Precoce					Médio					Tardio				
	CAD					CAD					CAD				
	25	50	75	100	125	25	50	75	100	125	25	50	75	100	125
10-Ago	3605	3785	3885	3952	4001	4768	5005	5136	5222	5282	5550	5858	6039	6160	6248
20-Ago	3778	3972	4081	4153	4204	4896	5147	5291	5385	5452	5674	5969	6146	6269	6362
30-Ago	3908	4116	4233	4310	4364	4983	5234	5385	5486	5561	5784	6069	6241	6363	6457
10-Set	3979	4192	4319	4403	4465	5069	5304	5447	5550	5630	5863	6130	6296	6419	6515
20-Set	4025	4226	4352	4442	4510	5145	5368	5507	5609	5691	5973	6224	6380	6496	6590
30-Set	4081	4268	4386	4474	4545	5231	5438	5567	5667	5748	6082	6325	6468	6575	6662
10-Out	4151	4325	4435	4520	4589	5315	5513	5636	5728	5804	6115	6363	6508	6612	6698
20-Out	4216	4381	4486	4566	4631	5347	5549	5672	5763	5837	6146	6395	6538	6641	6725
30-Out	4240	4407	4512	4592	4657	5340	5542	5663	5753	5828	6146	6403	6549	6650	6729
10-Nov	4241	4411	4515	4594	4659	5360	5566	5685	5772	5842	6141	6398	6544	6644	6719
20-Nov	4231	4400	4501	4576	4637	5331	5542	5663	5750	5816	6042	6310	6466	6570	6648
30-Nov	4200	4379	4484	4560	4619	5278	5489	5613	5699	5766	5896	6163	6324	6433	6519
10-Dez	4178	4356	4461	4536	4596	5169	5387	5518	5608	5677	5765	6025	6183	6292	6377
20-Dez	4119	4297	4404	4478	4536	5013	5230	5364	5458	5531	5590	5849	6003	6112	6196
30-Dez	3982	4164	4278	4358	4419	4866	5077	5206	5301	5373	5386	5641	5794	5903	5987
10-Jan	3824	4000	4112	4193	4257	4642	4851	4979	5070	5143	5215	5460	5600	5698	5775
20-Jan	3657	3830	3938	4017	4080	4466	4667	4789	4876	4945	5046	5283	5415	5505	5574
30-Jan	3506	3676	3781	3856	3916	4333	4529	4642	4720	4781	4860	5093	5221	5307	5372
10-Fev	3372	3537	3636	3705	3759	4117	4313	4423	4498	4556	4671	4896	5016	5094	5155
20-Fev	3227	3394	3490	3557	3607	3951	4141	4245	4315	4368	4515	4732	4845	4917	4972
28-Fev	3111	3274	3365	3426	3472	3838	4020	4117	4181	4229	4390	4599	4709	4778	4829

Tabela 68. Parâmetros empíricos do modelo (a , b e c – kg ha^{-1}) de definição da melhor época de semeadura e data ótima de semeadura (dia juliano $J_o = -b/2a$) correspondente à produtividade atingível (PA, kg ha^{-1}) média máxima da cultura de soja, considerando diferentes cultivares de ciclos precoce (100 dias), médio (120 dias) e tardio (140 dias) e CAD de 25, 50, 75, 100 e 125 mm em função de 21 datas de semeadura (J – dia juliano), no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Pato Branco, PR.

Ciclo	CAD	a	b	c	R ²	Dia	J _o	PA
Precoce	25	-0,0865	53,178	-3933,9	0,9880	3 de novembro	307,4	4239
Precoce	50	-0,0859	52,654	-3647,9	0,9869	2 de novembro	306,5	4421
Precoce	75	-0,0865	52,961	-3574,6	0,9873	2 de novembro	306,1	4532
Precoce	100	-0,0878	53,737	-3611,0	0,9887	2 de novembro	306,0	4611
Precoce	125	-0,0893	54,679	-3694,2	0,9903	2 de novembro	306,2	4676
Médio	25	-0,1017	60,686	-3727,6	0,9867	25 de outubro	298,4	5325
Médio	50	-0,1008	59,887	-3352,3	0,9876	24 de outubro	297,1	5543
Médio	75	-0,1012	60,024	-3220,9	0,9891	23 de outubro	296,6	5679
Médio	100	-0,1025	60,702	-3218,2	0,9907	23 de outubro	296,1	5769
Médio	125	-0,1039	61,562	-3268,9	0,9922	23 de outubro	296,3	5850
Tardio	25	-0,1049	61,111	-2823,6	0,9792	18 de outubro	291,3	6077
Tardio	50	-0,1051	60,894	-2483,9	0,9825	16 de outubro	289,7	6336
Tardio	75	-0,1058	61,078	-2321,6	0,9849	15 de outubro	288,6	6493
Tardio	100	-0,1067	61,480	-2245,2	0,9869	15 de outubro	288,1	6611
Tardio	125	-0,1078	62,001	-2217,0	0,9886	14 de outubro	287,6	6698

Em base as condições de CAD e épocas de semeadura para a cultura da soja simuladas, para uma cultivar de ciclo precoce, podem-se obter em todos os casos rendimentos de $PA \geq 2000 \text{ kg ha}^{-1}$. Com $CAD \geq 50 \text{ mm}$, as probabilidades de obter rendimentos superiores a 3000 kg ha^{-1} são indicadas para todas as datas de semeadura. Para solos com $CAD \leq 25 \text{ mm}$, a máxima produtividade que pode ser obtida é $< 4000 \text{ kg ha}^{-1}$, se a soja for semeada entre o 30 de outubro a 30 de novembro. Para capacidades de armazenamento de água superiores, esses rendimentos podem atingir valores superiores a 4000 kg ha^{-1} em casos de semeaduras de 20 de agosto a 10 de janeiro.

Tabela 69. Probabilidade (%) de se obter valores de produtividade atingível (PA) nas faixas de 2000 a 7000 kg ha⁻¹ e $\geq$ PA média, considerando uma cultivar de ciclo precoce (100 dias) e CAD de 25, 50, 75, 100 e 125 mm em função de 21 datas de semeadura (J – dia juliano), no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Pato Branco, PR.

PA	Ciclo	CAD	Data de semeadura																					
			10-Ago	20-Ago	30-Ago	10-Set	20-Set	30-Set	10-Out	20-Out	30-Out	10-Nov	20-Nov	30-Nov	10-Dez	20-Dez	30-Dez	10-Jan	20-Jan	30-Jan	10-Fev	20-Fev	28-Fev	
≥ 2000	Precoce	25	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	96	86	75
≥ 4000			0	4	27	45	57	63	73	79	91	84	86	82	71	73	46	25	5	0	0	0	0	0
≥ 5000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ 6000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			55	61	59	48	50	52	63	50	57	54	52	46	48	54	48	48	50	59	59	55	57	
≥ 2000	Precoce	50	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	95	88	
≥ 4000			13	55	75	84	80	82	86	93	96	96	93	89	95	84	75	45	25	5	0	0	0	
≥ 5000			0	0	0	0	0	0	0	0	2	4	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 6000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ PA média			55	59	52	45	46	55	61	55	54	55	52	52	50	50	52	46	43	54	59	57	55	
≥ 2000	Precoce	75	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	95	
≥ 4000			23	73	91	98	98	89	89	96	98	98	96	95	98	93	84	64	32	13	0	0	0	
≥ 5000			0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 6000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ PA média			57	59	54	43	46	54	59	55	50	57	54	48	52	50	52	46	41	52	61	59	57	
≥ 2000	Precoce	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	96	
≥ 4000			45	80	96	100	100	96	95	100	100	100	96	96	100	100	89	79	50	25	2	0	0	
≥ 5000			0	0	0	0	0	0	0	4	5	4	4	2	4	2	2	0	0	0	0	0	0	
≥ 6000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ PA média			66	57	54	41	46	50	57	55	52	55	54	48	52	52	52	52	46	48	61	59	57	
≥ 2000	Precoce	125	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	
≥ 4000			61	86	98	100	100	100	100	100	100	100	98	100	100	100	91	84	63	34	7	0	0	
≥ 5000			0	0	0	0	0	2	2	5	11	4	4	2	4	5	2	0	0	0	0	0	0	
≥ 6000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ PA média			61	52	54	45	41	50	55	55	52	55	55	46	52	54	54	52	46	46	61	55	55	

Valores de PA ≥ 3000 kg ha⁻¹ são obtidos para uma cultivar de ciclo médio para todas as capacidades de armazenamento de água no solo e para todas as épocas de semeadura simuladas. Para a obtenção de rendimentos ≥ 4000 kg ha⁻¹, em solos com CAD ≤ 25 mm, a soja deve ser semeada antes do início do mês de fevereiro. Enquanto para solos com CAD ≥ 100 mm, o potencial de rendimento aumenta para mais de 5000 kg ha⁻¹, só se a soja for semeada entre o 10 de agosto e 30 de dezembro.

Tabela 70. Probabilidade (%) de se obter valores de produtividade atingível (PA) nas faixas de 2000 a 7000 kg ha⁻¹ e $\geq$ PA média, considerando uma cultivar de ciclo médio (120 dias) e CAD de 25, 50, 75, 100 e 125 mm em função de 21 datas de semeadura (J – dia juliano), no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Pato Branco, PR.

PA	Ciclo	CAD	Data de semeadura																					
			10-Ago	20-Ago	30-Ago	10-Set	20-Set	30-Set	10-Out	20-Out	30-Out	10-Nov	20-Nov	30-Nov	10-Dez	20-Dez	30-Dez	10-Jan	20-Jan	30-Jan	10-Fev	20-Fev	28-Fev	
≥ 2000	25		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 4000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	95	95	70	48	21
≥ 5000			11	36	41	63	71	79	89	95	89	88	88	82	77	48	25	9	2	0	0	0	0	0
≥ 6000			0	0	0	0	0	0	0	2	4	2	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			55	46	45	54	55	61	50	46	54	50	50	45	54	43	45	48	52	52	54	57	61	
≥ 2000	50		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 4000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	98	89	75	66	
≥ 5000			57	77	84	86	86	86	96	98	98	95	96	96	89	77	57	27	7	0	0	0	0	
≥ 6000			0	0	0	0	0	0	2	4	4	5	4	4	2	2	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ PA média			57	50	45	54	59	59	52	55	54	50	48	46	52	43	46	46	57	55	52	59	64	
≥ 2000	75	Médio	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	
≥ 4000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	96	84	71	
≥ 5000			75	93	100	93	91	93	98	98	98	96	98	100	95	89	77	41	20	9	0	0	0	
≥ 6000			0	0	0	0	4	7	11	13	7	9	13	5	5	2	2	0	0	0	0	0	0	
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ PA média			57	52	41	52	59	61	52	54	54	54	46	46	52	43	48	45	54	55	52	59	61	
≥ 2000	100		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	
≥ 4000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	98	91	77	
≥ 5000			86	98	100	98	98	98	100	100	98	100	100	100	100	89	84	57	34	14	0	0	0	
≥ 6000			0	0	0	4	9	13	21	23	16	21	18	16	9	4	2	0	0	0	0	0	0	
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ PA média			59	54	41	50	55	57	50	55	55	54	45	48	54	45	50	45	52	55	54	55	59	
≥ 2000	125		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 4000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	98	93	88		
≥ 5000			91	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	93	91	71	36	20	0	0	0	
≥ 6000			0	0	2	5	14	23	30	23	25	27	23	20	9	7	2	0	0	0	0	0	0	
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ PA média			59	52	41	48	55	55	52	55	55	54	46	48	54	45	50	48	50	55	50	54	57	

Da mesma forma, para uma cultivar de ciclo tardio, em todas as datas de semeadura e capacidades de armazenamento hídrico no solo, a PA foi ≥ 4000 kg ha⁻¹. Para solos com CAD ≤ 50 mm, existem poucas probabilidades de obter rendimentos ≥ 6000 kg ha⁻¹ se a soja não for semeada entre as datas de 30 de setembro e 20 de novembro. Não obstante, para maiores CAD, as faixas de semeadura são maiores, podendo abranger desde o 10 de agosto a 10 de dezembro.

Tabela 71. Probabilidade (%) de se obter valores de produtividade atingível (PA) nas faixas de 2000 a 7000 kg ha⁻¹ e $\geq$ PA média, considerando uma cultivar de ciclo tardio (140 dias) e CAD de 25, 50, 75, 100 e 125 mm em função de 21 datas de semeadura (J – dia juliano), no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Pato Branco, PR.

PA	Ciclo	CAD	Data de semeadura																					
			10-Ago	20-Ago	30-Ago	10-Set	20-Set	30-Set	10-Out	20-Out	30-Out	10-Nov	20-Nov	30-Nov	10-Dez	20-Dez	30-Dez	10-Jan	20-Jan	30-Jan	10-Fev	20-Fev	28-Fev	
≥ 2000	Tardío	25	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 4000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	100	96	91
≥ 5000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	96	93	77	61	32	9	0	0
≥ 6000			4	13	20	38	48	64	63	73	68	63	54	32	21	13	2	0	0	0	0	0	0	0
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			45	45	54	57	54	48	50	39	52	43	52	50	45	52	46	54	61	57	52	55	57	57
≥ 2000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
≥ 4000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98
≥ 5000	Tardío	50	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	96	79	63	41	13	0	
≥ 6000			29	46	61	71	75	84	88	91	88	91	82	66	50	29	14	4	0	0	0	0	0	
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	2	4	2	4	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ PA média			45	50	57	59	61	54	50	48	52	46	52	46	48	52	45	55	59	54	57	59	61	
≥ 2000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 4000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 5000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	98	91	82	61	25	11
≥ 6000			54	68	73	75	88	89	95	96	95	96	91	88	75	46	23	11	2	0	0	0	0	0
≥ 7000			0	0	0	0	2	2	4	5	5	7	5	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ PA média	46	46	55	59	57	52	52	50	50	48	48	45	48	46	45	57	57	54	59	59	59	59		
≥ 2000	Tardío	75	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 4000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 5000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	98	91	82	61	25	11
≥ 6000			54	68	73	75	88	89	95	96	95	96	91	88	75	46	23	11	2	0	0	0	0	0
≥ 7000			0	0	0	0	2	2	4	5	5	7	5	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			46	46	55	59	57	52	52	50	50	48	48	45	48	46	45	57	57	54	59	59	59	59
≥ 2000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
≥ 4000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
≥ 5000	Tardío	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	98	98	84	68	43	14	
≥ 6000			71	82	80	82	89	93	96	96	96	98	95	91	82	66	32	11	5	0	0	0	0	
≥ 7000			0	0	2	2	4	7	9	14	13	18	11	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ PA média			48	46	55	61	55	52	50	52	54	48	50	45	50	48	46	54	57	54	59	55	57	
≥ 2000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 4000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 5000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	98	89	70	48	23
≥ 6000			84	91	91	86	93	96	98	98	96	100	100	100	91	86	73	43	25	5	0	0	0	0
≥ 7000			0	0	2	7	11	14	16	16	20	23	18	5	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ PA média	50	48	55	63	57	55	52	52	55	48	50	43	48	46	46	55	55	55	57	57	61	61		

4.8. Ponta Grossa

O histórico de precipitação e temperaturas para o município de Ponta Grossa apresentado na Figura 35, verifica a variação média desses parâmetros ao longo do ano, onde principalmente devido à altitude desta localidade (878 m) as temperaturas baixas se apresentam significativamente em períodos prolongados, sendo observado especialmente nos meses de maio até setembro, aumentando posteriormente, mas sem ultrapassar os 30 °C. Referente às precipitações, há uma diminuição na quantidade nos meses de abril e agosto, ficando estável já entre os meses de setembro a fevereiro. Devido às condições mencionadas

anteriormente, os períodos favoráveis para a semeadura e desenvolvimento da soja são definidos entre os meses de outubro e fevereiro, compreendido por estações de temperaturas ótimas e chuvas.

Figura 35. Variação sazonal da precipitação (mm) e temperaturas máxima, média e mínima do ar (°C) no período de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Ponta Grossa, PR.

Em função das probabilidades obtidas, resultado das condições climáticas observadas nos períodos de simulação, pode-se observar que apenas no mês de agosto existe deficiência hídrica ($ET_r/ET_c < 0,60$) descartando a possibilidade de semeadura nesse mês, além disso, as probabilidades de temperaturas superiores a 40 °C são nulas. Considerando uma cultivar de ciclo precoce, os períodos favoráveis de semeadura iniciam desde o segundo decêndio de outubro até o primeiro decêndio de janeiro, sem risco de temperaturas muito baixas. Para uma cultivar de ciclo médio, esse período estende-se desde o segundo decêndio de outubro ao segundo decêndio de dezembro, e para uma cultivar de ciclo tardio, inicia-se no mesmo momento do que as cultivares anteriores e acaba já no segundo decêndio de dezembro.

Tabela 72. Probabilidade (%) de se obter valores médios de temperatura (T) sob condições de $10 > T > 40$ °C, $20 < T < 30$ °C e dias com T ótima para cultivares de soja de ciclos precoce (100 dias), médio (120 dias) e tardio (140 dias) em função de 21 decêndios no período de agosto a fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Ponta Grossa, PR.

Ciclo	Condição	Decêndio																				
		Ago			Set			Out			Nov			Dez			Jan			Fev		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
		%																				
Precoce	T>40 °C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	T<10 °C	100	100	100	96	93	89	84	77	70	55	36	27	27	29	52	75	88	95	96	96	98
	20°C<T<30 °C	0	0	0	0	0	0	0	4	5	13	23	30	30	30	21	7	4	0	0	0	0
	Dias com T ótima	30	35	41	47	53	60	66	71	76	80	83	85	85	84	83	78	72	64	55	47	40
Médio	T>40 °C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	T<10 °C	100	100	100	96	93	89	84	77	70	55	38	39	39	75	88	95	96	96	98	98	100
	20°C<T<30 °C	0	0	0	0	0	0	0	4	5	14	18	21	21	11	4	0	0	0	0	0	0
	Dias com T ótima	36	42	48	53	59	64	70	74	78	81	83	83	82	79	75	68	62	55	47	39	34
Tardio	T>40 °C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	T<10 °C	100	100	100	96	93	89	84	77	70	63	63	79	79	95	96	96	98	98	100	100	100
	20°C<T<30 °C	0	0	0	0	0	0	0	2	5	13	9	9	9	0	0	0	0	0	0	0	0
	Dias com T ótima	42	48	53	58	63	68	73	76	79	80	80	79	75	71	66	59	53	47	40	34	29

Na Tabela 73, são apresentadas as PP (kg ha^{-1}) do município de Ponta Grossa. Os maiores valores para as cultivares de ciclo precoce, médio e tardio foram obtidos em 30 de outubro, 20 de outubro e 20 de outubro com rendimentos de 4943, 6183 e 7203 kg ha^{-1} , respectivamente. Porém, segundo os parâmetros empíricos da melhor época de semeadura, exibidas na Tabela 74, as maiores produtividades são obtidas nos dias 8 de novembro, 29 de outubro e 19 de outubro com valores de 4943, 6159 e 7145 kg ha^{-1} , respectivamente.

Figura 36. Produtividade potencial (PP) média da cultura da soja para cultivares de ciclos precoce (100 dias), médio (120 dias) e tardio (140 dias) em função de 21 datas de semeadura, no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Ponta Grossa, PR.

Tabela 73. Produtividade potencial (PP) média da cultura da soja para cultivares de ciclos precoce (100 dias), médio (120 dias) e tardio (140 dias) em função de 21 datas de semeadura, no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Ponta Grossa, PR.

Ciclo	Data de semeadura																				
	10-Ago	20-Ago	30-Ago	10-Set	20-Set	30-Set	10-Out	20-Out	30-Out	10-Nov	20-Nov	30-Nov	10-Dez	20-Dez	30-Dez	10-Jan	20-Jan	30-Jan	10-Fev	20-Fev	28-Fev
Precoce	4016	4227	4397	4575	4699	4823	4887	4934	4943	4941	4912	4861	4798	4717	4631	4501	4374	4199	3997	3778	3581
Médio	5281	5495	5664	5848	5974	6093	6150	6183	6179	6146	6084	5995	5895	5781	5651	5443	5248	5009	4718	4453	4247
Tardio	6385	6602	6762	6938	7053	7155	7197	7203	7168	7094	6998	6879	6741	6560	6372	6100	5829	5550	5255	4992	4779

Nesta localidade e em base à relação PR/PP foram observadas perdas no rendimento de 36,5; 49,2 e 56,4% para cultivares de ciclo precoce, médio e tardio, respectivamente.

Tabela 74. Parâmetros empíricos do modelo (a , b e c – kg ha^{-1}) de definição da melhor época de semeadura e data ótima de semeadura (dia juliano $J_o = -b/2a$) correspondente à produtividade potencial (PP, kg ha^{-1}) média máxima da cultura de soja, considerando diferentes cultivares de ciclos precoce (100 dias), médio (120 dias) e tardio (140 dias), em função de 21 datas de semeadura (J – dia juliano), no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Ponta Grossa, PR.

Ciclo	a	b	c	R ²	Dia	J _o	PP
Precoce	-0,1092	68,168	-5695,0	0,9966	8 de novembro	312,1	4943
Médio	-0,1321	79,810	-5895,4	0,9981	29 de outubro	302,1	6159
Tardio	-0,1430	83,476	-5037,5	0,9951	19 de outubro	291,9	7145

Enquanto à probabilidade de se obter PP maior ou igual a determinados valores, em todas as cultivares e épocas de semeadura são obtidos rendimentos $\geq 3000 \text{ kg ha}^{-1}$. A cultivar precoce pode apresentar altas probabilidades de atingir $PP \geq 4000 \text{ kg ha}^{-1}$ se semeada apenas nas datas de 20 de agosto a 30 de janeiro. Para um ciclo médio, as expectativas de obter valores $\geq 5000 \text{ kg ha}^{-1}$ se observam em semeaduras de 10 de agosto a 20 de janeiro. Finalmente, para uma cultivar tardia, semeando na faixa de 10 de agosto até 30 de dezembro, existem elevadas possibilidades de chegar a produtividades $\geq 6000 \text{ kg ha}^{-1}$.

Tabela 75. Probabilidade (%) de se obter valores de produtividade potencial (PP) nas faixas de 3000 a 8000 kg ha⁻¹ e $\geq$ PP média, considerando diferentes cultivares de soja de ciclos precoce (100 dias), médio (120 dias) e tardio (140 dias), em função de 21 datas de semeadura (J – dia juliano), no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Ponta Grossa, PR.

PP	Ciclo	Data de semeadura																				
		10-Ago	20-Ago	30-Ago	10-Set	20-Set	30-Set	10-Out	20-Out	30-Out	10-Nov	20-Nov	30-Nov	10-Dez	20-Dez	30-Dez	10-Jan	20-Jan	30-Jan	10-Fev	20-Fev	28-Fev
≥ 3000	Precoce	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Médio	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Tardío	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
≥ 4000	Precoce	57	84	95	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	91	45	11	2
	Médio	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	84
	Tardío	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
≥ 5000	Precoce	0	0	0	2	4	11	30	36	34	45	38	29	16	7	2	0	0	0	0	0	0
	Médio	88	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	93	52	9	2	0
	Tardío	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	84	50	21	
≥ 6000	Precoce	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	4	21	43	66	75	75	75	71	63	52	29	13	2	2	0	0	0	0	0
	Tardío	93	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	96	73	21	4	0	0	0
≥ 7000	Precoce	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Tardío	0	4	20	39	55	66	73	79	71	63	54	29	11	2	2	0	0	0	0	0	0
≥ 8000	Precoce	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Tardío	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\geq$ PP média	Precoce	55	54	55	55	52	50	48	46	50	50	50	50	50	52	52	52	57	46	45	45	52
	Médio	52	50	59	50	50	48	54	48	52	50	50	52	54	52	50	54	50	50	48	50	48
	Tardío	52	54	50	52	55	48	48	50	52	52	54	52	50	55	50	48	48	59	50	50	50

Os valores de produtividade atingível (PA, kg ha⁻¹) resultantes para o município de Ponta Grossa em função de cultivares de ciclo precoce, médio e tardio sob diferentes níveis de armazenamento de água no solo (25, 50, 75, 100 e 125 mm) são apresentados na Tabela 76. Em forma geral, os maiores rendimentos para esses ciclos foram obtidos em 10 de novembro, 10 de novembro e 30 de outubro, respectivamente. Sem embargo, os parâmetros empíricos da melhor época de semeadura, apresentados na Tabela 77, indicam que em forma geral as maiores produtividades sob as condições referidas anteriormente são atingidas para cultivares de ciclo precoce, médio e tardio, nos dias de semeadura de 6 a 7 de novembro, 28 a 30 de outubro e 21 a 23 de outubro, respectivamente.

Figura 37. Produtividade atingível (PA) média da cultura da soja para cultivares de ciclos precoce (100 dias), médio (120 dias) e tardio (140 dias) e CAD de 25, 50, 75, 100 e 125 mm em função de 21 datas de semeadura, no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Ponta Grossa, PR.

Tabela 76. Produtividade atingível (PA) média da cultura da soja para cultivares de ciclos precoce (100 dias), médio (120 dias) e tardio (140 dias) e CAD de 25, 50, 75, 100 e 125 mm em função de 21 datas de semeadura, no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Ponta Grossa, PR.

Data de semeadura	Ciclo														
	Precoce					Médio					Tardio				
	CAD					CAD					CAD				
	25	50	75	100	125	25	50	75	100	125	25	50	75	100	125
10-Ago	3330	3478	3567	3630	3678	4350	4541	4653	4732	4792	5051	5287	5429	5531	5610
20-Ago	3462	3620	3715	3781	3832	4452	4649	4766	4849	4914	5186	5411	5548	5649	5729
30-Ago	3537	3701	3800	3871	3925	4522	4715	4833	4920	4989	5263	5490	5625	5723	5804
10-Set	3605	3770	3872	3947	4007	4624	4808	4923	5009	5079	5393	5611	5743	5839	5918
20-Set	3661	3821	3924	4001	4063	4707	4887	5002	5087	5157	5508	5722	5849	5940	6017
30-Set	3754	3906	4005	4081	4142	4816	4991	5100	5181	5249	5640	5854	5976	6062	6134
10-Out	3801	3948	4044	4116	4176	4891	5069	5173	5250	5315	5669	5887	6014	6103	6175
20-Out	3869	4020	4112	4181	4238	4945	5125	5231	5307	5370	5722	5936	6060	6147	6215
30-Out	3898	4049	4141	4208	4264	4953	5129	5236	5313	5376	5720	5937	6061	6148	6214
10-Nov	3921	4069	4159	4227	4280	4963	5138	5243	5318	5378	5705	5922	6047	6131	6197
20-Nov	3921	4064	4154	4220	4274	4937	5112	5217	5290	5349	5624	5847	5976	6061	6127
30-Nov	3891	4038	4128	4193	4245	4885	5064	5168	5240	5297	5547	5770	5896	5979	6044
10-Dez	3869	4016	4104	4167	4216	4820	5003	5107	5178	5233	5424	5649	5777	5864	5929
20-Dez	3827	3978	4065	4126	4173	4720	4902	5009	5083	5138	5255	5475	5603	5694	5761
30-Dez	3752	3905	3995	4059	4107	4600	4782	4888	4965	5022	5064	5282	5408	5503	5575
10-Jan	3634	3786	3876	3942	3991	4396	4575	4682	4762	4822	4867	5072	5194	5285	5358
20-Jan	3488	3640	3732	3800	3853	4207	4382	4487	4568	4632	4674	4873	4991	5079	5150
30-Jan	3315	3464	3556	3626	3680	4021	4187	4291	4369	4431	4495	4683	4795	4880	4947
10-Fev	3144	3287	3378	3447	3502	3829	3991	4089	4164	4224	4332	4515	4621	4701	4764
20-Fev	2994	3134	3222	3289	3341	3663	3821	3917	3989	4045	4195	4370	4473	4549	4609
28-Fev	2865	3004	3089	3154	3204	3566	3715	3807	3874	3927	4077	4247	4346	4418	4475

Tabela 77. Parâmetros empíricos do modelo (a , b e c – kg ha^{-1}) de definição da melhor época de semeadura e data ótima de semeadura (dia juliano $J_o = -b/2a$) correspondente à produtividade atingível (PA, kg ha^{-1}) média máxima da cultura de soja, considerando diferentes cultivares de ciclos precoce (100 dias), médio (120 dias) e tardio (140 dias) e CAD de 25, 50, 75, 100 e 125 mm em função de 21 datas de semeadura (J – dia juliano), no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Ponta Grossa, PR.

Ciclo	CAD	a	b	c	R ²	Dia	Jo	PA
Precoce	25	-0,0819	50,962	-4008,0	0,9830	7 de novembro	311,1	3920
Precoce	50	-0,0820	50,950	-3843,6	0,9830	6 de novembro	310,7	4071
Precoce	75	-0,0820	50,898	-3734,8	0,9848	6 de novembro	310,4	4163
Precoce	100	-0,0819	50,851	-3655,0	0,9871	6 de novembro	310,4	4238
Precoce	125	-0,0822	50,967	-3614,9	0,9896	6 de novembro	310,0	4285
Médio	25	-0,1006	61,069	-4323,3	0,9875	30 de outubro	303,5	4945
Médio	50	-0,1012	61,295	-4157,6	0,9876	29 de outubro	302,8	5124
Médio	75	-0,1013	61,239	-4027,4	0,9885	29 de outubro	302,3	5228
Médio	100	-0,1010	61,042	-3910,1	0,9900	29 de outubro	302,2	5313
Médio	125	-0,1010	60,962	-3827,1	0,9915	28 de outubro	301,8	5372
Tardio	25	-0,1076	63,786	-3805,6	0,9769	23 de outubro	296,4	5648
Tardio	50	-0,1096	64,905	-3731,1	0,9793	23 de outubro	296,1	5878
Tardio	75	-0,1103	65,195	-3628,4	0,9810	22 de outubro	295,5	6005
Tardio	100	-0,1102	65,048	-3502,3	0,9831	22 de outubro	295,1	6097
Tardio	125	-0,1099	64,749	-3371,6	0,9848	21 de outubro	294,6	6165

Em base à probabilidade de se obter valores de PA maiores ou iguais a determinados rendimentos, observa-se que para a cultivar precoce, em todas as épocas de semeadura e diferentes valores de armazenamento de água no solo, produtividades $\geq 2000 \text{ kg ha}^{-1}$ são obtidas. Em solos com $\text{CAD} \leq 25 \text{ mm}$, a semeadura deve ser iniciada antes do mês de fevereiro, condição para obter rendimentos $\geq 3000 \text{ kg ha}^{-1}$. Para capacidades de água disponíveis no solo mais elevadas (125 mm) a semeadura pode se estender desde o 20 de outubro e 10 de dezembro.

Tabela 78. Probabilidade (%) de se obter valores de produtividade atingível (PA) nas faixas de 2000 a 7000 kg ha⁻¹ e $\geq$ PA média, considerando uma cultivar de ciclo precoce (100 dias) e CAD de 25, 50, 75, 100 e 125 mm em função de 21 datas de semeadura (J – dia juliano), no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Ponta Grossa, PR.

PA	Ciclo	CAD	Data de semeadura																					
			10-Ago	20-Ago	30-Ago	10-Set	20-Set	30-Set	10-Out	20-Out	30-Out	10-Nov	20-Nov	30-Nov	10-Dez	20-Dez	30-Dez	10-Jan	20-Jan	30-Jan	10-Fev	20-Fev	28-Fev	
≥ 2000		25	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			95	96	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	96	77	46	32
≥ 4000			0	0	2	5	5	21	23	29	36	38	38	27	32	27	14	2	0	0	0	0	0	0
≥ 5000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ 6000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			48	52	46	50	50	50	54	50	43	48	50	55	54	61	54	52	50	39	52	48	52	
≥ 2000		50	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			96	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	89	77	54	
≥ 4000			0	2	7	16	32	45	50	55	52	64	63	59	54	54	41	18	5	0	0	0	0	
≥ 5000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 6000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ PA média			57	55	48	48	50	52	54	52	41	57	54	55	48	54	61	57	54	45	50	54	54	
≥ 2000		75	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			96	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	84	66	
≥ 4000			0	7	14	27	45	52	55	64	71	73	71	73	66	64	59	30	16	2	0	0	0	
≥ 5000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 6000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ PA média			57	55	50	50	50	52	54	50	45	55	55	52	48	57	59	59	54	46	50	57	50	
≥ 2000		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	95	77	
≥ 4000			2	13	29	36	50	57	64	71	80	75	73	77	77	71	68	41	21	5	0	0	0	
≥ 5000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 6000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ PA média			59	57	52	50	50	52	52	50	45	57	57	52	54	54	63	57	52	48	48	57	50	
≥ 2000		125	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	84	
≥ 4000			5	21	39	50	57	70	71	80	82	84	80	80	80	75	71	54	27	7	0	0	0	
≥ 5000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 6000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ PA média			59	55	50	46	50	52	52	52	45	57	55	54	54	54	61	55	52	48	48	57	50	

Para uma cultivar de ciclo médio, também em todos os casos são obtidos valores de produtividade ≥ 3000 kg ha⁻¹. Rendimentos ≥ 4000 kg ha⁻¹ podem ser obtidos em solos com CAD ≤ 50 mm e ≤ 100 mm se a semeadura for realizada antes do terceiro decêndio de janeiro e inícios de fevereiro, respectivamente. Enquanto que para solos com CAD igual a 125 mm, a semeadura se restringe às datas de 10 de outubro a 30 de novembro.

Tabela 79. Probabilidade (%) de se obter valores de produtividade atingível (PA) nas faixas de 2000 a 7000 kg ha⁻¹ e $\geq$ PA média, considerando uma cultivar de ciclo médio (120 dias) e CAD de 25, 50, 75, 100 e 125 mm em função de 21 datas de semeadura (J – dia juliano), no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Ponta Grossa, PR.

PA	Ciclo	CAD	Data de semeadura																					
			10-Ago	20-Ago	30-Ago	10-Set	20-Set	30-Set	10-Out	20-Out	30-Out	10-Nov	20-Nov	30-Nov	10-Dez	20-Dez	30-Dez	10-Jan	20-Jan	30-Jan	10-Fev	20-Fev	28-Fev	
≥ 2000	25	25	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 4000			89	95	98	98	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	95	84	52	25	4	2
≥ 5000			0	2	5	9	21	30	36	39	46	48	36	34	30	14	4	0	0	0	0	0	0	0
≥ 6000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			48	48	46	52	48	54	45	43	52	54	54	50	55	54	52	41	45	52	54	48	50	50
≥ 2000	50	50	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 4000			96	100	100	100	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	96	73	54	23	11	
≥ 5000			2	9	18	34	45	50	54	64	70	68	66	55	54	43	20	5	0	0	0	0	0	0
≥ 6000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			50	46	55	54	52	52	46	43	55	54	54	48	52	59	57	46	45	48	55	54	57	57
≥ 2000	Médio	75	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	
≥ 4000			98	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	91	73	39	21	
≥ 5000			7	21	27	45	50	59	66	77	73	77	79	73	66	59	36	11	4	0	0	0	0	0
≥ 6000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			55	50	50	55	50	50	48	43	59	55	55	52	57	59	57	48	45	45	55	54	55	55
≥ 2000	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 4000			98	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	73	50	27	
≥ 5000			16	34	39	55	59	63	71	80	84	79	79	79	75	63	54	21	5	0	0	0	0	0
≥ 6000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			54	50	48	55	50	50	48	45	55	59	54	52	57	59	55	48	48	45	55	52	55	55
≥ 2000	125	125	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 4000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	82	59	38	
≥ 5000			21	41	50	64	61	73	80	93	86	84	86	82	79	71	61	27	9	0	0	0	0	0
≥ 6000			0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			54	54	50	54	54	50	50	45	55	61	54	52	57	59	55	48	48	46	54	50	54	54

Rendimentos ≥ 3000 kg ha⁻¹ são observados em todos os casos para uma cultivar de ciclo tardio. Para solos com capacidade de retenção de água ≤ 25 mm, existem limitantes para obter valores ≥ 4000 kg ha⁻¹ a partir do segundo decêndio de fevereiro, sendo que para CAD ≥ 50 mm, produtividades ≥ 4000 kg ha⁻¹ são observadas para todas as épocas de semeadura. Solos com CAD ≤ 25 mm podem ainda produzir 5000 kg ha⁻¹ em semeaduras realizadas entre o 10 de setembro a 20 de dezembro. Para solos com capacidade de armazenamento de água superiores, as datas recomendáveis de semeadura para obter produtividades ≥ 5000 kg ha⁻¹ foram entre o 10 de agosto e 10 de janeiro.

Tabela 80. Probabilidade (%) de se obter valores de produtividade atingível (PA) nas faixas de 2000 a 7000 kg ha⁻¹ e $\geq$ PA média, considerando diferentes cultivares ciclo tardio (140 dias) e CAD de 25, 50, 75, 100 e 125 mm em função de 21 datas de semeadura (J – dia juliano), no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Ponta Grossa, PR.

PA	Ciclo	CAD	Data de semeadura																					
			10-Ago	20-Ago	30-Ago	10-Set	20-Set	30-Set	10-Out	20-Out	30-Out	10-Nov	20-Nov	30-Nov	10-Dez	20-Dez	30-Dez	10-Jan	20-Jan	30-Jan	10-Fev	20-Fev	28-Fev	
≥ 2000	Tardío	25	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 4000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	96	89	79	66
≥ 5000			54	68	79	80	93	96	98	100	100	100	96	96	89	82	55	29	13	2	0	0	0	0
≥ 6000			0	2	2	5	11	14	16	13	21	21	14	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			54	54	55	52	52	52	50	61	50	48	54	54	57	52	48	54	48	48	57	52	52	52
≥ 2000		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 4000		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	93	89	80	
≥ 5000	50	82	84	88	89	96	98	98	100	100	100	100	98	96	91	82	61	34	9	2	0	0	0	
≥ 6000		4	4	9	21	25	34	38	45	45	45	38	30	11	2	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 7000		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ PA média		50	57	54	50	48	52	50	59	54	50	52	55	59	54	48	50	50	52	59	54	48	48	
≥ 2000		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 4000		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 5000	75	89	91	91	95	100	100	100	100	100	100	100	100	100	93	88	68	50	25	5	0	0	0	
≥ 6000		5	13	27	30	39	52	50	68	57	59	54	43	30	11	2	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 7000		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ PA média		52	57	54	48	52	54	50	61	54	52	59	57	57	52	50	50	52	52	63	59	55	55	
≥ 2000		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 4000		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 5000	100	91	95	93	98	100	100	100	100	100	100	100	100	98	91	80	59	38	13	2	0	0	0	
≥ 6000		11	16	32	38	46	55	64	70	70	68	61	59	41	21	4	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 7000		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ PA média		54	55	54	50	50	52	50	63	55	54	55	59	57	55	48	52	52	52	63	59	57	57	
≥ 2000		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 4000		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 5000	125	96	96	95	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100	96	84	63	46	13	5	0	0	0	
≥ 6000		18	23	38	48	52	63	71	71	71	70	64	61	52	25	7	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 7000		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ PA média		52	55	57	50	50	52	50	63	55	52	57	55	55	55	48	48	52	50	61	59	55	55	
≥ 2000		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 4000		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	

4.9. Umuarama

Em base aos dados médios de temperaturas máxima, mínima e média e precipitações do município de Umuarama obtidos e apresentados na Figura 38, podem-se observar temperaturas máximas médias mais elevadas do que as outras localidades, enquanto as mínimas são caracterizadas pela ocorrência estacional nos meses de junho a agosto e que podem causar danos nas culturas. A temperatura ótima para a soja entre 20 e 30 °C, acontece maiormente nos meses de setembro a janeiro com boa disponibilidade de água pelas chuvas. Esse último parâmetro climático, é reduzido nos meses de julho a setembro devido à

sazonalidade nesse período. Por esse motivo, o período favorável para a semeadura da soja, coincidindo com temperaturas amenas e bom índice pluviométrico é definido desde o mês de outubro a janeiro.

Figura 38. Variação sazonal da precipitação (mm) e temperaturas máxima, média e mínima do ar (°C) no período de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Umuarama, PR.

As análises probabilísticas realizadas para o parâmetro de deficiência hídrica indicam novamente indisponibilidade hídrica ($ET_r/ET_c < 0,60$) apenas no mês de agosto, para o período de simulação. Enquanto que para as condições climáticas extremas apresentadas anteriormente, não se observam temperaturas extremas elevadas ($>40\text{ }^{\circ}\text{C}$) em nenhum dos decêndios estudados, porém existem ocorrências de temperaturas baixas ($<10\text{ }^{\circ}\text{C}$). Para uma cultivar precoce, só no início de agosto e metade do mês de fevereiro corre risco de sofrer temperaturas baixas em alguma etapa do seu desenvolvimento. Da mesma maneira, o ciclo médio também apresenta limitantes por causa da temperatura no primeiro decêndio de agosto e já nos começos de fevereiro. E por último, para uma cultivar de ciclo tardio, além de se apresentarem problemas para a semeadura no início de agosto, o período desfavorável para o plantio se antecipa já até o segundo decêndio de janeiro.

Tabela 81. Probabilidade (%) de se obter valores médios de temperatura (T) sob condições de $10 > T > 40$ °C, $20 < T < 30$ °C e dias com T ótima para cultivares de soja de ciclos precoce (100 dias), médio (120 dias) e tardio (140 dias) em função de 21 decêndios no período de agosto a fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Umuarama, PR.

Ciclo	Condição	Decêndio																				
		Ago			Set			Out			Nov			Dez			Jan			Fev		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
		%																				
Precoce	T > 40 °C	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	2	2	2	2	2	2	2	0	0	0	0
	T < 10 °C	95	77	73	54	39	20	16	9	4	0	0	0	0	4	9	20	30	52	64	80	88
	20°C < T < 30 °C	2	7	18	36	61	88	93	98	98	96	98	98	98	98	98	96	86	70	38	14	2
	Dias com T ótima	75	79	83	87	90	93	95	97	97	98	98	98	98	98	98	97	95	91	87	81	76
Médio	T > 40 °C	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	2	2	2	2	2	2	2	0	0	0	0
	T < 10 °C	95	77	73	54	39	20	16	9	4	0	2	4	4	18	30	52	64	77	89	91	95
	20°C < T < 30 °C	4	16	23	46	71	91	98	98	98	100	100	100	100	96	93	75	45	21	4	2	2
	Dias com T ótima	79	82	86	89	92	94	96	97	98	98	98	98	98	97	96	92	89	85	79	75	71
Tardio	T > 40 °C	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	2	2	2	2	2	2	2	0	0	0	0
	T < 10 °C	95	77	73	54	39	20	16	9	5	4	9	18	18	50	64	77	88	91	95	100	100
	20°C < T < 30 °C	9	20	32	63	89	96	100	100	100	100	100	98	98	82	66	29	11	2	2	0	0
	Dias com T ótima	81	85	87	90	93	95	96	97	98	98	98	97	96	93	91	87	82	78	74	71	67

São apresentadas na Tabela 82 as produtividades potenciais (PP, kg ha⁻¹) resultantes no município de Umuarama. Para as cultivares de ciclo precoce, médio e tardio, os valores mais elevados foram obtidos nas datas de semeadura de 10 de novembro, 20 de outubro e 20 de outubro, com rendimentos de 5417, 6760 e 7876 kg ha⁻¹ respectivamente, no entanto, os parâmetros empíricos da melhor época de semeadura, apresentadas na Tabela 83, indicam que as produtividades mais altas são obtidas nos dias 6 de novembro, 27 de outubro e 16 de outubro com rendimentos de 5395, 6730 e 7822 kg ha⁻¹, respectivamente.

Figura 39. Produtividade potencial (PP) média da cultura da soja para cultivares de ciclos precoce (100 dias), médio (120 dias) e tardio (140 dias) em função de 21 datas de semeadura, no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Umuarama, PR.

Tabela 82. Produtividade potencial (PP) média da cultura da soja para cultivares de ciclos precoce (100 dias), médio (120 dias) e tardio (140 dias) em função de 21 datas de semeadura, no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Umuarama, PR.

Ciclo	Data de semeadura																				
	10-Ago	20-Ago	30-Ago	10-Set	20-Set	30-Set	10-Out	20-Out	30-Out	10-Nov	20-Nov	30-Nov	10-Dez	20-Dez	30-Dez	10-Jan	20-Jan	30-Jan	10-Fev	20-Fev	28-Fev
Precoce	4621	4782	4917	5050	5159	5260	5330	5393	5404	5417	5381	5343	5282	5197	5102	4965	4814	4647	4444	4263	4113
Médio	5995	6163	6305	6450	6558	6660	6723	6760	6752	6738	6682	6596	6496	6368	6215	6021	5816	5601	5347	5121	4953
Tardio	7199	7374	7510	7650	7749	7821	7852	7876	7851	7788	7695	7568	7414	7240	7039	6802	6555	6303	6032	5805	5646

Quebras de produtividade (PR/PP) de 51,9; 61,4 e 66,9% foram calculadas para cultivares de ciclo precoce, médio e tardio para a localidade de Umuarama.

Tabela 83. Parâmetros empíricos do modelo (a , b e c – kg ha^{-1}) de definição da melhor época de semeadura e data ótima de semeadura (dia juliano $J_o = -b/2a$) correspondente à produtividade potencial (PP, kg ha^{-1}) média máxima da cultura de soja, considerando diferentes cultivares de ciclos precoce (100 dias), médio (120 dias) e tardio (140 dias), em função de 21 datas de semeadura (J – dia juliano), no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Umuarama, PR.

Ciclo	a	b	c	R ²	Dia	Jo	PP
Precoce	-0,1017	63,039	-4373,6	0,9987	6 de novembro	309,9	5395
Médio	-0,1209	72,514	-4143,3	0,9972	27 de outubro	299,9	6730
Tardio	-0,1276	73,773	-2841,1	0,9932	16 de outubro	289,1	7822

Em função das probabilidades de se obter determinados valores de PP, em todos os ciclos da cultura e épocas de semeadura foram observados rendimentos $\geq 4000 \text{ kg ha}^{-1}$. No caso de uma cultivar precoce, para obter elevadas probabilidades de observar rendimentos $\geq 5000 \text{ kg ha}^{-1}$, a soja deve ser semeada a partir de 20 de setembro a 10 de dezembro. Para o ciclo médio, as datas preferenciais de semeadura para obter produtividades $\geq 6000 \text{ kg ha}^{-1}$ devem produzir-se em 20 de agosto a 20 de dezembro. Enquanto para uma cultivar de ciclo tardio, podendo atingir valores $\geq 7000 \text{ kg ha}^{-1}$, as datas de semeadura devem iniciar-se a partir de 20 de agosto a 10 de dezembro.

Tabela 84. Probabilidade (%) de se obter valores de produtividade potencial (PP) nas faixas de 3000 a 8000 kg ha⁻¹ e $\geq$ PP média, considerando diferentes cultivares de soja de ciclos precoce (100 dias), médio (120 dias) e tardio (140 dias), em função de 21 datas de semeadura (J – dia juliano), no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Umuarama, PR.

PP	Ciclo	Data de semeadura																				
		10-Ago	20-Ago	30-Ago	10-Set	20-Set	30-Set	10-Out	20-Out	30-Out	10-Nov	20-Nov	30-Nov	10-Dez	20-Dez	30-Dez	10-Jan	20-Jan	30-Jan	10-Fev	20-Fev	28-Fev
≥ 3000	Precoce	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Médio	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Tardío	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
≥ 4000	Precoce	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	96	89	73
	Médio	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Tardío	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
≥ 5000	Precoce	0	11	34	64	84	91	93	98	96	98	96	95	88	75	61	45	20	2	0	0	0
	Médio	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	91	70	50
	Tardío	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
≥ 6000	Precoce	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	52	82	89	96	100	100	100	100	100	100	100	98	98	91	75	54	23	2	0	0	0
	Tardío	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	82	59	23	5
≥ 7000	Precoce	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	0	2	5	9	14	14	16	16	14	11	7	2	0	0	0	0	0	0	0
	Tardío	77	93	96	100	100	100	100	100	100	100	100	98	91	73	59	21	2	0	0	0	0
≥ 8000	Precoce	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Médio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Tardío	0	2	4	11	16	21	25	29	29	25	16	11	5	0	0	0	0	0	0	0	0
$\geq$ PP média	Precoce	52	52	52	48	45	48	52	55	54	50	50	43	46	48	45	50	54	54	54	54	54
	Médio	52	48	54	46	54	52	54	55	48	50	48	45	46	46	48	54	52	55	54	55	55
	Tardío	45	48	52	54	54	54	52	52	50	45	46	45	46	50	50	50	54	55	50	50	59

Em função das cultivares de ciclo precoce, médio e tardio simulados sob diferentes CAD (25, 50, 75, 100 e 125 mm) do solo, os valores de produtividade atingível (PA, kg ha⁻¹) resultantes para o município de Umuarama são apresentados na Tabela 85. Os maiores rendimentos obtidos em forma geral para esses ciclos foram nas datas de 30 de outubro, 20 de outubro e 20 de outubro, respectivamente, embora os parâmetros empíricos da melhor época de semeadura, apresentados na Tabela 86, indiquem que de maneira geral as produtividades mais elevadas sob condições elencadas anteriormente são atingidas nos dias de semeadura de 3 e 4 de novembro, 24 a 26 de outubro e 14 a 17 de outubro, respectivamente para cultivares de ciclo precoce, médio e tardio.

Figura 40. Produtividade atingível (PA) média da cultura da soja para cultivares de ciclos precoce (100 dias), médio (120 dias) e tardio (140 dias) e CAD de 25, 50, 75, 100 e 125 mm em função de 21 datas de semeadura, no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Umuarama, PR.

Tabela 85. Produtividade atingível (PA) média da cultura da soja para cultivares de ciclos precoce (100 dias), médio (120 dias) e tardio (140 dias) e CAD de 25, 50, 75, 100 e 125 mm em função de 21 datas de semeadura, no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Umuarama, PR.

Data de semeadura	Ciclo														
	Precoce					Médio					Tardio				
	CAD					CAD					CAD				
	25	50	75	100	125	25	50	75	100	125	25	50	75	100	125
10-Ago	3602	3778	3881	3956	4015	4728	4952	5081	5172	5244	5503	5793	5957	6073	6163
20-Ago	3738	3927	4037	4115	4176	4832	5068	5203	5298	5372	5630	5911	6069	6183	6273
30-Ago	3828	4026	4138	4218	4280	4912	5147	5282	5380	5457	5735	6009	6159	6268	6356
10-Set	3891	4088	4203	4287	4353	5010	5233	5360	5455	5532	5825	6098	6246	6353	6440
20-Set	3959	4148	4258	4341	4408	5084	5308	5433	5523	5599	5918	6183	6326	6430	6515
30-Set	4030	4216	4323	4403	4469	5170	5389	5511	5600	5673	6014	6274	6411	6511	6593
10-Out	4088	4270	4374	4450	4513	5240	5454	5574	5661	5733	6027	6292	6434	6537	6620
20-Out	4157	4337	4440	4515	4578	5291	5506	5624	5711	5783	6055	6315	6460	6565	6649
30-Out	4182	4362	4464	4540	4603	5263	5477	5599	5690	5764	6056	6315	6460	6563	6646
10-Nov	4180	4357	4459	4538	4603	5270	5481	5602	5692	5765	6036	6296	6443	6545	6624
20-Nov	4153	4329	4433	4512	4575	5239	5453	5578	5668	5738	5943	6208	6363	6467	6549
30-Nov	4123	4303	4413	4492	4556	5184	5399	5527	5617	5689	5833	6090	6244	6350	6435
10-Dez	4091	4272	4382	4463	4526	5107	5320	5449	5539	5610	5708	5959	6109	6214	6297
20-Dez	4053	4229	4338	4416	4477	4974	5181	5310	5400	5473	5546	5796	5943	6046	6127
30-Dez	3947	4122	4232	4310	4372	4835	5038	5162	5252	5324	5351	5596	5744	5847	5927
10-Jan	3802	3973	4081	4160	4223	4636	4840	4964	5055	5125	5195	5428	5564	5664	5741
20-Jan	3655	3826	3934	4015	4078	4475	4671	4791	4879	4949	5057	5286	5415	5509	5582
30-Jan	3516	3682	3786	3863	3925	4343	4533	4644	4728	4794	4909	5135	5261	5350	5422
10-Fev	3382	3542	3639	3712	3771	4177	4362	4472	4551	4616	4778	4997	5118	5203	5270
20-Fev	3258	3417	3514	3585	3643	4058	4238	4345	4422	4483	4664	4884	5003	5085	5147
28-Fev	3176	3328	3423	3492	3548	3986	4166	4266	4338	4394	4577	4799	4921	5001	5061

Tabela 86. Parâmetros empíricos do modelo (a , b e c – kg ha^{-1}) de definição da melhor época de semeadura e data ótima de semeadura (dia juliano $J_o = -b/2a$) correspondente à produtividade atingível (PA, kg ha^{-1}) média máxima da cultura de soja, considerando diferentes cultivares de ciclos precoce (100 dias), médio (120 dias) e tardio (140 dias) e CAD de 25, 50, 75, 100 e 125 mm em função de 21 datas de semeadura (J – dia juliano), no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Umuarama, PR.

Ciclo	CAD	a	b	c	R ²	Dia	Jo	PA
Precoce	25	-0,0781	48,139	-3256,6	0,9984	4 de novembro	308,2	4161
Precoce	50	-0,0790	48,573	-3121,0	0,9895	3 de novembro	307,4	4345
Precoce	75	-0,0795	48,863	-3053,2	0,9896	3 de novembro	307,3	4455
Precoce	100	-0,0799	49,122	-3011,4	0,9902	3 de novembro	307,4	4539
Precoce	125	-0,0805	49,457	-2997,4	0,9909	3 de novembro	307,2	4599
Médio	25	-0,0897	53,696	-2794,0	0,9807	26 de outubro	299,3	5242
Médio	50	-0,0904	53,937	-2581,2	0,9822	25 de outubro	298,3	5464
Médio	75	-0,0912	54,323	-2502,8	0,9836	24 de outubro	297,8	5587
Médio	100	-0,0918	54,633	-2450,8	0,9848	24 de outubro	297,6	5678
Médio	125	-0,0925	55,010	-2428,0	0,9860	24 de outubro	297,4	5751
Tardio	25	-0,0889	51,568	-1522,6	0,9668	17 de outubro	290,5	5956
Tardio	50	-0,0895	51,707	-1224,7	0,9685	15 de outubro	288,9	6243
Tardio	75	-0,0906	52,234	-1139,1	0,9705	15 de outubro	288,3	6390
Tardio	100	-0,0913	52,581	-1070,5	0,9727	15 de outubro	288,0	6500
Tardio	125	-0,0920	52,917	-1023,0	0,9746	14 de outubro	287,6	6586

Na Tabela 87, pode-se observar que em função de uma cultivar precoce obtém-se elevadas probabilidades de rendimentos de $PA \geq 3000 \text{ kg ha}^{-1}$ em todas as épocas de semeadura e capacidades de armazenamento de água. Embora, as probabilidades de alcançar valores $\geq 4000 \text{ kg ha}^{-1}$ sejam muito baixas com disponibilidade hídrica no solo menor do que 25 mm, observa-se que em CAD de 125 mm, aquele valor pode ser atingido semeando a soja desde a data de 30 de agosto a 10 de janeiro.

Tabela 87. Probabilidade (%) de se obter valores de produtividade atingível (PA) nas faixas de 2000 a 7000 kg ha⁻¹ e $\geq$ PA média, considerando uma cultivar de ciclo precoce e CAD de 25, 50, 75, 100 e 125 mm em função de 21 datas de semeadura (J – dia juliano), no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Umuarama, PR.

PA	Ciclo	CAD	Data de semeadura																					
			10-Ago	20-Ago	30-Ago	10-Set	20-Set	30-Set	10-Out	20-Out	30-Out	10-Nov	20-Nov	30-Nov	10-Dez	20-Dez	30-Dez	10-Jan	20-Jan	30-Jan	10-Fev	20-Fev	28-Fev	
≥ 2000		25	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	96	88	80
≥ 4000			2	9	18	20	39	54	68	77	80	84	73	71	64	55	45	14	4	0	0	0	0	
≥ 5000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 6000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ PA média			52	50	54	50	46	50	43	45	46	46	50	46	54	50	52	54	54	46	54	57	59	
≥ 2000		50	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	95	89	
≥ 4000			18	41	57	70	77	84	86	93	91	93	89	84	79	88	73	55	23	11	0	0	0	
≥ 5000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 6000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ PA média			55	50	50	50	50	50	48	50	45	52	55	54	59	50	54	59	54	52	55	55	59	
≥ 2000		75	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	95	
≥ 4000			30	61	79	89	89	89	91	95	100	96	96	93	91	91	88	64	46	23	5	0	0	
≥ 5000			0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	4	4	2	2	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 6000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ PA média			54	54	52	52	50	50	48	50	45	50	54	54	54	45	54	57	54	54	57	52	55	
≥ 2000		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	96	
≥ 4000			48	75	88	93	93	93	96	95	100	98	96	95	96	91	93	70	55	30	11	0	0	
≥ 5000			0	0	0	0	0	0	0	5	4	5	4	4	2	2	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 6000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ PA média			54	55	52	50	52	52	48	50	48	45	52	54	55	46	52	55	54	54	57	52	54	
≥ 2000		125	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 4000			61	75	93	95	96	95	96	96	100	98	96	100	98	95	93	82	61	36	18	2	0	
≥ 5000			0	0	0	0	0	0	0	7	9	5	5	5	4	4	2	0	0	0	0	0	0	
≥ 6000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
≥ PA média			57	54	52	52	55	52	46	46	50	45	52	54	55	45	52	57	54	50	57	52	52	

Para uma cultivar de ciclo médio, em todas as épocas de semeadura e diferentes capacidades de retenção de água nos solos são obtidos valores ≥ 3000 kg ha⁻¹. Para CAD inferiores a 25 mm, existem ainda possibilidades de obter PA ≥ 5000 kg ha⁻¹ em semeaduras de 20 de outubro a 10 de novembro, contudo, para solos com maior capacidade de retenção de água (≥ 50 mm) as probabilidades de atingir valores ≥ 5000 kg ha⁻¹ aumentam em semeaduras realizadas em datas de 10 de agosto a 30 de dezembro.

Tabela 88. Probabilidade (%) de se obter valores de produtividade atingível (PA) nas faixas de 2000 a 7000 kg ha⁻¹ e $\geq$ PA média, considerando uma cultivar de ciclo médio (120 dias) e CAD de 25, 50, 75, 100 e 125 mm em função de 21 datas de semeadura (J – dia juliano), no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Umuarama, PR.

PA	Ciclo	CAD	Data de semeadura																					
			10-Ago	20-Ago	30-Ago	10-Set	20-Set	30-Set	10-Out	20-Out	30-Out	10-Nov	20-Nov	30-Nov	10-Dez	20-Dez	30-Dez	10-Jan	20-Jan	30-Jan	10-Fev	20-Fev	28-Fev	
≥ 2000	Médio	25	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 4000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	96	89	79	63	50
≥ 5000			13	27	32	43	59	73	79	88	84	80	75	68	63	48	25	5	0	0	0	0	0	0
≥ 6000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			50	45	50	39	54	50	50	52	48	50	54	55	52	54	54	54	52	52	54	52	52	57
≥ 2000	Médio	50	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 4000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	93	88	84	75	
≥ 5000			46	55	77	86	88	91	95	96	96	91	93	89	89	75	57	27	13	2	0	0	0	0
≥ 6000			0	0	0	0	0	0	2	4	4	4	4	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			52	48	52	43	54	52	46	46	52	52	50	54	50	55	54	52	57	57	54	55	63	
≥ 2000	Médio	75	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 4000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	93	93	88	
≥ 5000			71	80	89	93	93	95	98	98	98	96	95	96	91	89	70	46	21	11	0	0	0	0
≥ 6000			0	0	0	0	2	5	14	14	11	7	4	7	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			54	48	52	48	52	50	48	43	50	54	52	52	52	55	55	52	55	55	54	57	61	
≥ 2000	Médio	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 4000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	96	95	93	
≥ 5000			75	89	93	93	95	96	100	100	98	98	96	98	93	93	79	63	36	14	0	0	0	0
≥ 6000			0	0	0	0	7	9	18	21	14	14	14	13	7	4	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			54	50	57	50	50	52	52	45	48	50	52	54	50	55	57	55	57	57	54	57	55	
≥ 2000	Médio	125	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 4000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	96	95	93		
≥ 5000			84	95	95	95	96	96	100	100	98	100	98	98	98	93	89	68	45	25	2	0	0	0
≥ 6000			0	0	0	2	11	16	23	30	25	23	21	14	11	4	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			52	48	57	52	48	50	52	45	46	50	52	54	52	52	57	57	57	57	52	54	54	

Elevadas probabilidades de se obter produtividades ≥ 4000 kg ha⁻¹ foram observadas para uma cultivar de ciclo tardio para todas as diferentes condições de CAD e épocas de semeadura. Para os solos com CAD ≤ 25 mm, as limitantes para obter rendimentos ≥ 5000 kg ha⁻¹, podem ser observadas a partir dos começos de janeiro, porém, para solos com maior capacidade de armazenamento de água isso é observado apenas no início de fevereiro. Produtividades superiores a 6000 kg ha⁻¹ podem ser obtidas em solos com CAD ≥ 100 mm se semeadas em 20 de agosto a 10 de dezembro.

Tabela 89. Probabilidade (%) de se obter valores de produtividade atingível (PA) nas faixas de 2000 a 7000 kg ha⁻¹ e $\geq$ PA média, considerando uma cultivar de ciclo tardio (140 dias) e CAD de 25, 50, 75, 100 e 125 mm em função de 21 datas de semeadura (J – dia juliano), no período de 10 de agosto a 28 de fevereiro de 1961 a 2017 (56 anos), no município de Umuarama, PR.

PA	Ciclo	CAD	Data de semeadura																					
			10-Ago	20-Ago	30-Ago	10-Set	20-Set	30-Set	10-Out	20-Out	30-Out	10-Nov	20-Nov	30-Nov	10-Dez	20-Dez	30-Dez	10-Jan	20-Jan	30-Jan	10-Fev	20-Fev	28-Fev	
≥ 2000	Tardío	25	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 4000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 5000			98	100	98	98	100	100	100	100	100	100	100	100	98	96	93	77	57	39	20	4	0	
≥ 6000			0	11	21	25	41	54	52	59	57	54	45	30	16	4	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ 7000			0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			46	46	50	50	52	54	43	50	52	52	50	48	45	52	50	55	54	52	50	52	50	50
≥ 2000	Tardío	50	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 4000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 5000			98	100	100	98	100	100	100	100	100	100	100	100	98	98	93	88	82	70	50	32	20	
≥ 6000			25	39	54	63	64	77	82	80	82	79	75	57	39	27	11	5	0	0	0	0	0	0
≥ 7000			0	0	0	0	0	2	2	4	2	4	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			55	55	52	50	50	45	45	48	50	50	52	45	54	57	50	54	55	57	52	52	48	48
≥ 2000	Tardío	75	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 4000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 5000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	95	89	86	84	71	52	34	
≥ 6000			43	59	66	75	82	86	91	91	89	91	86	79	68	46	25	5	2	0	0	0	0	0
≥ 7000			0	0	0	0	2	4	4	4	4	4	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			54	54	57	55	50	43	43	48	52	48	52	46	54	54	50	61	59	55	55	52	52	52
≥ 2000	Tardío	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 4000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 5000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	93	89	86	82	63	52	52	
≥ 6000			61	79	86	88	88	93	96	98	93	95	89	91	73	59	32	14	5	0	0	0	0	0
≥ 7000			0	0	0	2	7	9	13	13	7	7	11	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			54	55	57	52	50	48	46	48	52	48	54	46	50	55	55	59	59	57	54	52	52	52
≥ 2000	Tardío	125	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 3000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 4000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
≥ 5000			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	95	91	89	86	77	61	61	
≥ 6000			75	80	86	88	91	96	98	98	98	96	93	91	84	68	46	25	5	2	0	0	0	0
≥ 7000			0	0	0	5	13	13	16	18	18	14	11	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ PA média			52	57	57	54	46	48	46	50	52	52	52	45	50	54	57	63	63	61	54	52	50	50

5. CONCLUSÕES

Em base aos resultados obtidos e em função das condições em que foi desenvolvido o presente trabalho permite-se concluir que:

- ▶ O modelo de estimação de produtividade da Zona Agroecológica – FAO foi o mais indicado na estimativa de parâmetros produtivos para a cultura da soja em função da penalização pelo déficit hídrico;
- ▶ O uso do modelo de estimação de produtividade da Zona Agroecológica – FAO permitiu definir épocas preferenciais de semeadura da cultura da soja nas diferentes regiões produtoras do Brasil, com base nos distintos tipos de solo e ciclos da cultura;
- ▶ Em função de diferentes capacidades de água disponível (CAD) dos solos, pode-se estimar as perdas no potencial produtivo ocasionadas pelo déficit hídrico;
- ▶ Comparando as datas de semeadura resultantes neste trabalho com as do Zoneamento Agrícola de Risco Climático do MAPA, verificaram-se que, na maioria dos casos a janela de plantio da cultura da soja coincidem com as estimadas no estudo;
- ▶ A utilização de modelos que permitem a estimação de produtividade e definição das épocas preferenciais de semeadura para as diferentes culturas, neste caso a soja, considerando aspectos climáticos e agronômicos, têm potencial de uso quando comparadas com outras metodologias utilizadas no Zoneamento de Risco Climático do MAPA.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR S., L.M.; PEREIRA G., D. 2008. **Cultivo do milho**: Zoneamento Agrícola. Sete Lagoas, MG. Embrapa Milho e Sorgo. (Sistemas de Produção, 2). 3p.
- ALLIPRANDINI, L.F.; ABATTI, C.; BERTAGNOLLI, P.F.; CAVASSIM, J.E.; GABE, H.L.; KUREK, A.; MATSUMOTO, M.N.; OLIVEIRA, M.A.R. de.; PITOL, C.; PRADO, L.C.; STECKING, C. Understanding soybean maturity groups in Brazil: Environment, cultivar classification, and stability. **Crop Science**, v. 49, p. 801-808, 2009.
- APARECIDO O., L.E.; ROLIM S. de, G.; RICHETTI, J.; SOUZA de, P.S.; JOHANN, J.A. Köppen, Thornthwaite and Camargo climate classifications for climatic zoning in the State of Paraná, Brazil. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, v. 40, n. 4, p. 405-417, 2016.
- BALBINOT J.; HIROSHI H.; FRANCHINI, J.C.; DEBIASI, H.; RIBEIRO, R.H. 2017. **Análise da área, produção e produtividade da soja no Brasil em duas décadas (1997-2016)**. Londrina, PR. Embrapa Soja. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 11). 22p.
- BARGE B., S.; GONÇALVES D.S.; H.; BOGNOLA, I.A.; RIBAS C., G.; VAINER M., C; CARVALHO J., W.; SILVA C., C.; DIAMANETE A., M.L.; SILVA S., J. 2008. **Mapa de solos do estado do Paraná**: Legenda atualizada. 1.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Florestas: Embrapa Solos: Instituto Agrônômico do Paraná. 74p.
- BATCHELOR, W.D.; BASSO, B.; PAZ, J.O. Examples of strategies to analyze spatial and temporal yield variability using crop models. **European Journal of Agronomy**, v.18, n. 1, p. 141-158, 2002.
- BATHIA, V.S.; SINGH, P.; WANI, S.P.; CHAUHAN, G.S.; KESAVA RAO, A.V.R.; MISHRA, A.K.; SRINIVAS, K. Analysis of potential yields and yields gaps of rainfed soybean in India using CROPGRO-Soybean model. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 148, n. 8, p. 1252-1265, 2008.

- BATTISTI, R. **Épocas de semeadura da cultura da soja com base no risco climático e na rentabilidade líquida para as principais regiões produtoras do Brasil**. 2013. 261 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.
- BATTISTI, R.; SENTELHAS, P.C. Drought tolerance of brazilian soybean cultivars simulated by a simple agrometeorological yield model. **Experimental Agriculture**, v. 51, p. 285-298, 2015.
- BATTISTI, R.; SENTELHAS, P.C. **Incremento de Produtividade da Soja**: Redução do déficit hídrico associado à melhor distribuição e profundidade do sistema radicular. Circular Técnica 1. 14 p. 2016.
- BATTISTI, R.; SENTELHAS, P.C.; PILAU, F.G.; WOLLMANN, C.A. Eficiência climática para as culturas da soja e do trigo no estado do Rio Grande do Sul em diferentes datas de semeadura. **Ciência Rural**, v. 43, n. 3, p. 390-396, 2013.
- BERLATO, M.A.; MATZENAUER, R.; BERGAMASCHI, H. Evapotranspiração máxima da soja, relações com a evapotranspiração calculada pela equação de Penman, evaporação de tanque “classe A” e radiação solar global. **Agronomia Sulriograndense**, v. 22, p. 243-259, 1986.
- BERLATO, M.A.; FONTANA, D.C. **El Niño e La Niña**: impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul; aplicações de previsões climáticas na agricultura. Porto Alegre: UFRGS, 2003. 110p.
- BERGAMASCHI, H. **Fenologia**. In: BERGAMASCHI, H.; BERGONCI, J.I. As Plantas e o Clima: Princípios e Aplicações. Guaíba: Agrolivros, 2017. 95-115 p.
- BERGAMASCHI, H. **Temperatura do ar**. In: BERGAMASCHI, H.; BERGONCI, J.I. As Plantas e o Clima: Princípios e Aplicações. Guaíba: Agrolivros, 2017. 137-185 p.

- BERGAMASCHI, H., BERLATO, M.A., MATZENAUER, R. et al. **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. Porto Alegre: Ed. Universidade/ UFRGS, Série Livro-Texto nº 17, 1992. 125p.
- BRANDALIZZE, V. Realidade e perspectivas de mercado e comercialização da soja no Brasil e no mundo. In: FANCELLI, A.L. **Soja: Condicionantes da Alta Produtividade**. Piracicaba: USP/ESALQ/LPV, 2017, p. 1-29.
- BRASIL. 2017. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Zoneamento Agrícola de Risco Climático: Portarias-Parâmetros de Risco Climático**. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/riscos-seguro/risco-agropecuário/documentos/Parametrosderiscoclimatico.pdf>. Acesso em: 11 abr. 2018.
- _____. 2018. **Zoneamento Agrícola de Risco Climático: Portarias por Unidade Federativa-Paraná-Soja**. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/riscos-seguro/risco-agropecuário/portarias/safra-vigente/parana>. Acesso em: 11 abr. 2018.
- CARDOSO G., E.; ZOTARELLI, L.; PICCININ, J.L.; TORRES, E.; SARAIVA F., O.; GUIMARÃES, M.F. Sistema radicular da soja em função da compactação do solo no sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 3, p. 493-501. 2006.
- CAVIGLIONE, J.H.; KIIHL B, L.R.; CARAMORI, P.H.; OLIVEIRA, D. **Cartas climáticas do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2000.
- BOARD, J.E.; KAHN, C.S. Soybean yield formation: what controls it and how it can be improved. In: EL-SHEMY, H.A. **Soybean physiology and biochemistry**. Croatia: InTech, 2011. p. 1-36.
- CAIRES, E.F.; FONSECA, A.F.; FLEDHAUS, I.C.; BLUM, J. Crescimento radicular e nutrição da soja cultivada no sistema de plantio direto em resposta ao calcário e gesso na superfície. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 1029-1040, 2001.

CAMARGO, A.P. de; ALFONSI, R. R.; PINTO, H.S.; CHIARINI, J.V. Zoneamento da aptidão climática para culturas comerciais em áreas do cerrado. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO – BASES PARA UTILIZAÇÃO AGROPECUÁRIA, 4., 1977, Brasília, DF. **Anais...** Brasília, DF, 1977. V. 1. p. 89-120.

COMITÊ ESTRATÉGICO SOJA BRASIL – CESB. **Desafio de Máxima Produtividade de Soja 2017**. Disponível em: <http://www.cesbrasil.org.br/>. Acesso em: 19 abr. 2018.

CUNHA, J.E.; CASTRO, S.S.; SALOMÃO, F.X.T. Comportamento erosivo de um sistema pedológico de Umuarama, noroeste do Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 943-951, 1999.

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

CUNHA, G.R. da; HAAS, J.A.; MALUF T., J.R.; CARAMORI, P.H.; ASSAD D., E.; BRAGA, H.J.; ZULLO JR., J.; LAZZAROTTO, C.; GONÇALVES, S.; WREGE, M.; BRUNETTA, D.; DOTTO, S.R.; PINTO S., H.; BRUNINI, O.; THOMÉ R., V.M.; ZAMPIERI, S.L.; PASINATO, A.; PIMENTEL M., M.B.; PANDOLFO, C. Zoneamento agrícola e época de semeadura para trigo no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, n. 3, p. 400-414, 2001b.

CUNHA R., G.; PIRES F., J.L.; DALMAGO, G.A.; SANTI, A.; PASINATO, A. 2011. **A evolução do conceito de rendimento em agricultura e as estratégias de segurança alimentar**. Acesso em 11 set. 2018. Disponível em: https://www.embrapa.br/documents/1355291/17775548/Gilberto+Cunha+e+etal_RPD+v21%2C+n6+-+nov-dez+2011+-+O+conceito+de+rendimento.pdf/ec0ded28-5aa6-4d83-808b-a2ed1c0bb09a?version=1.0

DALLACORT, R.; FREITAS, P.S.L.; FARIA, R.T.; GONÇALVES, A.C.A.; REZENDE, R.; BERTONHA, A. Determinação dos coeficientes da equação de Angstron para a região de Palotina, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 26, p. 329-336, 2004.

- DALL'AGNOL, A. 2017. **A saga da soja no Brasil e no Mundo**. Disponível em: https://www.agrolink.com.br/colunistas/coluna/a-saga-da-soja-no-brasil-e-no-mundo_400724.html. Acesso em: 23 abr. 2018.
- DEL PONTE, E.M.; ESKER, P.D. Meteorological factors and Asian Soybean Rust epidemics – a systems approach and implications for risk assessment. **Scientia Agricola**, v. 65, p. 88-97, 2008.
- DE PONTI, T.; RIJK, B.; VAN ITTERSUM, M.K. The crop yield gap between organic and conventional agriculture. **Agricultural Systems**, v. 108, p. 1-9, 2012.
- DE WIT, C.T. **Photosynthesis of leaf canopies**. Wageningen: PUDOC, 1965. 57 p. (Agriculture Research Report, 663).
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1979, 300 p. (Irrigation and Drainage Paper, 33).
- _____. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: FAO, 1994. (Estudos FAO, Irrigação e Drenagem 33).
- DOSS, B.D., PEARSON, R.W., ROGGER, H.T. Effect of soil water stress of various growth stages on soybean yields. **Agronomy Journal**, v.66, n.2, p.297- 299, 1974.
- DOURADO-NETO, D.; TERUEL, D.A.; REICHARDT, K.; NIELSEN, D.R.; FRIZZONE, J.A.; BACCHI, O.O.S. Principles of crop modeling and simulation: I. Uses of mathematical models in agricultural sciences. **Scientia Agricola**, v. 55, p. 46-50, 1998.
- EMBRAPA. **Cultivares de soja 2011/2012: Região Centro-sul do Brasil**. Londrina, 2011. 52 p.
- _____. 2017a. **Paraná altera período do vazio sanitário**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/25555616/parana-altera-periodo-do-vazio-sanitario>. Acesso em: 18 abr. 2018.

- _____. 2017b. **Produção de soja no Brasil cresce mais de 13% ao ano**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/25242861/producao-de-soja-no-brasil-cresce-mais-de-13-ao-ano>. Acesso em: 23 abr. 2018.
- EVANS, L.T.; FISCHER, R.A. Yield potential: Its definition, measurement, and significance. **Crop Science**, v.39, p.1544-1551, 1999.
- FARIAS B., J.R.; ALMEIDA R., I.; GARCIA, A. 1997. **Zoneamento agroclimático da cultura da soja para o Estado do Paraná**. Londrina, PR. Embrapa – CNPSo. (Embrapa-CNPSo. Documentos, 102). 84p.
- FARIAS, J.R.B.; ASSAD D., E.; ALMEIDA R., I.; EVANGELISTA, B.A.; LAZZAROTTO, C.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO L, A. Caracterização de risco de déficit hídrico nas regiões produtoras de soja no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.9, n.3, p. 415-421, 2001.
- FARIAS, J. R. B; NEPOMUCNO, A. L., NEUMAIER, N. **Ecofisiologia da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 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. cap. 15, p. 261-278.
- FEHR, W.R.; CAVINESS, C.E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University, 1977. 11 p. (Special Report, 80).
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. 2017. **FAOSTAT: Crop Productions**. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso em 29 mar. 2018.
- FRANCHINI, J.C.; DEBIASI, H.; SACOMAN, A.; NEPOMUCENO, A.L.; FARIAS, J.R.B. **Manejo do solo para redução das perdas de produtividade pela seca**. Londrina: Embrapa Soja, 39 pp. (Embrapa Soja. Documentos, 314), 2009.

- FRIZZONE, J. A.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; SOUZA, J. L. M.; ZOCOLER, J. L. Funções de produção água-cultura. In: FRIZZONE, J. A.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; SOUZA, J. L. M.; ZOCOLER, J. L. (Ed.). **Planejamento de irrigação: análise e decisão de investimento**. Brasília: Embrapa, 2005. p. 283-314.
- GLOVER, J.; MCCULLOCH, J.S.G. The empirical relation between solar radiation and hours of sunshine. **Quarterly Journal Royal Meteorology Society**, v. 84, p. 172-175, 1958.
- GONÇALVES P., M.; RODRIGUES DE JESUS, R.; BAYERL N., A. 2005. **A produção de soja no Paraná: um estudo sobre os principais fatores políticos e governamentais que influenciaram o crescente aumento da exportação da soja**. XLIII Congresso da Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural. Ribeirão Preto, SP. 20p.
- GÖPFERT, H., ROSSETTI, L.A., SOUZA, J. **Eventos generalizados e seguridade Agrícola**. Brasília: IPEA, Ministério do Planejamento, 1993. 78p.
- HARGREAVES, G.H.; SAMANI, Z.A. Estimating potential evapotranspiration. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 108, p. 225-230, 1982.
- HIRAKURI, M.H.; BALBINOT J., A.A. **Análise econômica de diferentes densidades de semeadura na cultura da soja**. Embrapa. Comunicado Técnico 87. Londrina, PR. 2015. 7 p.
- HIRAKURI, M.H. **Avaliação econômica da produção de soja nos Estados do Paraná e Rio Grande do Sul na safra 2016/17**. Embrapa. Circular Técnica 126. 2017, 14 p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. 2018. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola - julho 2018**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/home/lspa/brasil>. Acesso em: 10 ago. 2018.
- _____. 2018. **Mapas interativos: solos**. Disponível em: <http://mapasinterativos.ibge.gov.br/sigibge/>. Acesso em: 21 mar. 2018.

INSTITUTO AGRONÓMICO DO PARANÁ – IAPAR. 2017. **Zoneamento agrícola**. Londrina, PR. Disponível em: <http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=1043>. Acesso em: 16 jun. 2017.

ITTERSUM, M. K. van; RABBINGE, R. Concepts in production ecology for analysis and qualification of agricultural input-output combinations. **Field Crops Research**, v. 52, p. 197-208, 1997.

JERSZURKI, D.; SOUZA M. de, J.L. Parametrização das equações de Hargreaves & Samani e Angström para estimativa da radiação solar na região de Telêmaco Borba, Estado do Paraná. **Ciência Rural**, v. 43, n. 3, p. 383-389, 2013.

KASSAM, A.H. **Net biomass production and yield of crops**. Rome: FAO, 1977. 29 p.

KASTER, M.; FARIAS B., J.R. **Regionalização dos testes de Valor de Cultivo e Uso e da indicação de cultivares de soja – Terceira Aproximação**. Londrina, PR: Embrapa Soja (Documentos 330), 2012. 69 p.

LECH, L.R.; SOUZA, J.L.M.; JERSZURKI, D. Relação entre radiação solar global e insolação na região de Ponta Grossa/PR: coeficientes da equação de Angström-Prescott. In: EVENTO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFPR: ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO VOLTADOS PARA O DESENVOLVIMENTO, 17., 2009, Curitiba. **Resumos...** Curitiba: UFPR, 2009. p. 1.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – MAPA. 2018. **Agrostat: Estatísticas de Comercio Exterior do Agronegócio Brasileiro**. Disponível em: <http://sistemasweb.agricultura.gov.br/pages/AGROSTAT.html>. Acesso em: 10 ago. 2018.

MARIN, F.R.; LOPES-ASSAD, M.L.; DELGADO A.; E.; VIAN, C.E.; CABRAL S., M. Sugarcane crop efficiency in two growing seasons in São Paulo State, Brazil. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 43, n. 11, p. 1449-1455, 2008.

- MIYASAKA, S.; MEDINA, J.C. **A soja no Brasil**. Instituto de Tecnologia de Alimentos-ITAL, Campinas, 1981, 1061p.
- MUNDSTOCK, C.M.; THOMAS, A.L. Soja: **Fatores que afetam o crescimento e o rendimento de grãos**. UFRGS, 2005. Disponível em: www.ufrgs.br/agronomia/plantas/destaques/livro_soja.php>. Acesso em: 22 jun. 2018.
- NAVARRO JR., H.M.; COSTA, J.A. Contribuição relativa dos componentes do rendimento para produção de grãos em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p. 269-274, 2002.
- NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A.L.; FARIAS, J.R.B.; OYA, T. Estádios de desenvolvimento da cultura de soja. In: BONATTO, E.R. **Estresse em soja**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000. cap. 1, p. 19-44.
- JUDD, W.S.; CAMPBELL, C.S.; KELLOGG, E.A.; DONOGHUE, J. 2009. **Sistemática vegetal, um enfoque filogenético**. 3. ed. Artmed, Porto Alegre, 632p.
- PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Meteorologia Agrícola**. 4. ed. Piracicaba: ESALQ, 2007. 203p.
- PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. 3. ed. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478p.
- PICINI, A. G.; CAMARGO, M. B. P.; ORTOLANI, A. A.; FAZUOLI, L. C.; GALLO, P. B. Desenvolvimento e teste de modelos agrometeorológicos para a estimativa de produtividade do cafeeiro. **Bragantia**, v. 58, n. 1, p. 157-170, 1999.
- PIRES F., J.L.; COSTA, J.A.; RAMBO, L.; FERREIRA G., F. Métodos para a estimativa do potencial de rendimento da soja durante a ontogenia. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 40, n. 4, p. 337-344, 2005.
- PRADO, H. do. 2016. **Pedologia fácil: Aplicações em solos tropicais**. 5. ed. Piracicaba, 2016. 271p.

- RICHTER, G.L.; ZANON J., A.; STRECK, N.A.; GUEDES C., J.V.; KRÄULICH, B.; ROCHA M., T.S.; WINCK M., J.E.; CERA C., J. Estimativa da área de folhas de cultivares antigas e modernas de soja por método não destrutivo. **Bragantia**, v.79, p. 416-425, 2014.
- RIMMINGTON, G.M.; CHARLES-EDWARDS, D.A. Mathematical descriptions of plant growth and development. In: WISIOL, K.; HESKETH, J.D. **Plant growth modeling for resource management: current models and methods**. Boca Raton: CRC Press, 1987. v.1, p.3-15.
- RITCHIE, S.W.; HANWAY, J.J.; THOMPSON, H.E.; BENSON, G.O. **How a soybean plant develops**. Ames: Iowa State University of Science Technology, 1997. 20 p. (Special Report, 53).
- RODRIGUES, O.; DIDONET, A.D.; LHAMDY B., J.C.; BERTAGNOLLI, P.F.; LUZ da S., J. Resposta quantitativa do florescimento da soja à temperatura e ao fotoperíodo. **Pesquisa agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 3, p. 431-437, 2001.
- RODRIGUES, J.C.P.; FRANCHINI, J.C.; TORRES, E.; GARBELINI, L.G.; GALERANI, P.R. SARAIVA, O.F. Desenvolvimento do sistema radicular da soja em sistemas de rotação de culturas em plantio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 4, 2006, Londrina. **Resumos...** Londrina: Embrapa Soja, 2006. p. 33-34.
- SALINAS, A.R., SANTOS, D.S.B., SANTOS F.O. et al. **Comportamiento de genotipos de soja, hasta el estadio de plántulas, en diferentes niveles de humedad**. IN: CONFERENCIA MUNDIAL DE INVESTIGACION EN SOJA, 4., 1989, Buenos Aires. Actas... Buenos Aires: Asociación Argentina de la Soja (AASOJA), 1989. p. 376-382.
- SALTON, J.C.; TOMAZI, M. 2014. **Sistema radicular de plantas e qualidade do solo**. Embrapa Agropecuária. Comunicado Técnico 198, 5 p.
- SANTA RITTA N., A. 2010. **Análise da conjuntura agropecuária safra 2010/11 – Agrometeorologia (2010/11)**. Secretaria da Agricultura e do Abastecimento, Departamento de Economia Rural, 11 p.

- SEDIYAMA, T.; TEIXEIRA O., R.C.; SEDIYAMA, H.A. In: SEDIYAMA, T. (Ed.). **Produtividade da soja**. Londrina, PR: Mecnas, 2016. p. 11-29.
- SEDIYAMA, T.; TEIXEIRA, R.C.; BARROS, H.B. Cultivares. In: SEDIYAMA, T. (Ed.). **Tecnologia de produção e usos da soja**. Londrina, PR: Mecnas, 2009. p. 77-91.
- SENTELHAS, P. C.; PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R. **Meteorologia Agrícola**. 3. ed. Piracicaba: ESALQ, 2000. 172 p.
- SENTELHAS, P.C.; BATTISTI, R. **Clima e produtividade da soja**. Efeito nas produtividades potencial, atingível e real. Fundação MT – Boletim de Pesquisa 2015/2016, 2016. p. 20-44.
- SENTELHAS, P. C.; BATTISTI, R.; CÂMARA, G. M. S.; FARIAS, J. R. B.; NENDEL, C.; HAMPF, A. The soybean yield gap in Brazil: Magnitude, causes and possible solutions. **Journal of Agricultural Science**, v. 153, p. 1394-1411, 2015.
- SENTELHAS, P.C.; BATTISTI, R.; MONTEIRO, L.A.; DUARTE N., Y.C.; VISSER A., F. **Yield Gap – Conceitos, definições e exemplos**. Informações agronômicas N° 155, p. 9-12, 2016.
- SETIYONO, T.D.; WEISS, A.; SPECHT, J.E.; CASSMAN, K.G.; DOBERMANN, A. Leaf area index simulation in soybean grown under near-optimal conditions. **Field Crops Research**, v.108, p.82-92, 2008.
- SETIYONO, T.D.; BASTIDAS, A.M.; CASSMAN, K.G.; DOBERMANN, A.; SPECHT, J.E. Nodal leaf area distribution in soybean plants grown in high yield environments. **Agronomy Journal**, v.103, p. 1198-1205, 2011.
- SILVA F. da, A; SEDIYAMA, T.; BORÉM, A. In: SEDIYAMA, T.; SILVA, F.; BORÉM, A. (Ed.). **Soja do plantio à colheita**. Viçosa, MG: UFV, 2015. p. 54-65.

- SILVA, G.B. da; AZEVEDO, P.V. de. Potencial edafoclimático da “Chapada Diamantina” no Estado da Bahia para o cultivo de Citrus. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 8, n. 1, p. 139-139, 2000.
- SIONIT, N., KRAMER, J.P. Effect of water stress during different stages of growth of soybeans. **Agronomy Journal**, v.69, n.2, p.274-278, 1977.
- SOUZA, V.; GASPARETTO L., N.V. Avaliação da erodibilidade de algumas classes de solos do município de Maringá-PR por meio de análises físicas e geotécnicas. **Bol. Geogr., Maringá**, v. 28, n. 2, p. 5-16, 2010.
- SOUZA, J.L.L.; PIEKARSKI, K.R.; TSUKAHARA, R.Y.; GURSKI, B.C. **Atributos físico-hídricos de solos no sistema de plantio direto, região dos Campos Gerais**. Convibra, 2017. 14 p.
- STEDUTO, P., (2006). **Biomass Water-Productivity**. Comparing the Growth-Engines of Crop Models. WUEMED training course “Integrated approaches to improve drought tolerance in crops”, June 510, 2006 - Faculty of Agriculture, Bologna, Italy.
- STEWART, B.A., NIELSEN, D.R. **Irrigation of agricultural crops**. Madison: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, 1990. 1218p. (Series Agronomy, n.30).
- STORCH, M. Fatores determinantes para o aumento da produtividade da soja no centro-oeste do Brasil. In: FANCELLI, A.L. **Soja: Condicionantes da Alta Produtividade**. Piracicaba: USP/ESALQ/LPV, 2017, p. 31-51.
- TAGLIAPIETRA L., E.; STRECK, N.A.; ROCHA M., T.S.; RICHTER, G.L.; SILVA R., M.; CERA C., J.; GUEDES C., J.V.; ZANON J., A. Optimum leaf área index to Research soybean yield potential in subtropical environment. **Agronomy Journal**, v.110, p.932-938, 2018.

- TEIXEIRA, A.H. de C.; AZEVEDO, P.V. de. Zoneamento agroclimático para a videira europeia no Estado de Pernambuco, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 4, n. 1, p. 139-145, 1996.
- TSUKAHARA, R.Y.; FONSECA, I.C.B.; SILVA, M.A.A.; KOCHINSKI, E.G.; PRESTES NETO, J.; SUYAMA, J.T. Produtividade de soja em consequência do atraso da colheita e de condições ambientais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, p.905-915, 2016.
- UNITED STATES DEPARMENT OF AGRICULTURE – USDA. 2017. **World Agricultural Production**. Foreign Circular Series WAP 06-17. June 2017. 30 p.
- _____. 2018. **Soybean Area, Yield and Production**. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/downloads>. Acesso em: 29 mar. 2018.
- VALIATI, M.I.; RICIERI, R.P. Estimativa da irradiação solar global com partição mensal e sazonal para a região de Cascavel – PR. **Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 1, p. 76-85, 2005.
- WANG, F.; FRAISSE, C.W.; KITCHEN, N.R.; SUDDUTH, K.A. Site-specific evaluation of the CROPGRO-soybean model on Missouri claypan soils. **Agricultural System**, v. 76, n. 3, p. 985-1005, 2003.
- WANI, S.P.; HENG, L.K. **Soybean**. In: FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. Crop yield response to water. FAO irrigation and drainage paper 66. 2012. p. 124-131.
- WELLS, R. Dynamics of soybean growth in variable planting patterns. **Agronomy Journal**, v. 1, n. 81, p. 44-48, 1993.
- WOLLMANN, C.A.; GALVANI, E. Zoneamento agroclimático: linhas de pesquisa e caracterização teórica-conceitual. **Revista Sociedade & Natureza**, v. 25, n. 1, p. 179-190, 2013.

WU, H.; CHILDRESS, W.M.; LI, Y.; SPENCE, R.D.; REN, J. An integrated simulation model for a semiarid agroecosystem in the Loess Plateau of Northwestern China. **Agricultural Systems**, v.52, p.83-111, 1996.

ZANON, A.J.; SILVA R., M.; TAGLIAPIETRA L. E.; CERA C., J.; BEXAIRA P., K.; RICHTER, G.L.; DUARTE JR., A.J.; ROCHA M., T.S.; WEBER S., P.; STRECK, N.A. **Ecofisiologia da soja: Visando altas produtividades**. 1ed. Santa Maria, RS: 2018. 136 p.

ZANON, A.J.; WINCK M., J.E.; STRECK, N.A.; ROCHA M, T.S.; CERA C., J.; RICHTER, G.L.; LAGO, I.; SANTOS M., P.; MACIEL R., L.; GUEDES C., J.V.; MARCHESAN, E. Desenvolvimento de cultivares de soja em função do grupo de maturação e tipo de crescimento em terras altas e terras baixas. **Bragantia**, v.74, p. 400-411, 2015.

ZANON, A.J.; STRECK, N.A.; GRASSINI, P. Climate and management factors influence soybean yield potential in a subtropical environment. **Agronomy Journal**, v.108, p. 1447-1454, 2016a.

ZANON, A.J.; STRECK, N.A.; ROCHA M., T.S.; ALBERTO M., C.; BARTZ, A.C.; PAULA M., G.; TOMIOZZO, R.; COSTA C., L. FENSTERSEIFER, C.A.; TAGLIAPIETRA L., E.; CARDOSO P., Â.; WEBER S., P.; BEXAIRA P., K. Efeito do tipo de crescimento no desenvolvimento de cultivares modernas de soja após o início do florescimento no Rio Grande do Sul. **Bragantia**, v.75, p. 445-458, 2016b.

ZULLO JÚNIOR, J.; PINTO, H.S.; BRUNINI, O.; ASSAD, E.D. **Zoneamento de riscos climáticos para a cultura do trigo (*Triticum aestivum* L.) de sequeiro no Estado de São Paulo**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11., 1999, Florianópolis, SC. Anais. Florianópolis: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia: UFSC, 1999. CD – ROM.