REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/03/2026 - **Accepted:** 14/05/2026
Vol: 13.09
DOI: 10.66104/qeg2h056
Pages: 1-17

ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE FENOTÍPICA PARA TEOR DE ÓLEO EM GENÓTIPOS DE SOJA EM DIFERENTES AMBIENTES

ADAPTABILITY AND PHENOTYPIC STABILITY FOR OIL CONTENT IN SOYBEAN GENOTYPES UNDER DIFFERENT ENVIRONMENTAL CONDITIONS

ADAPTABILIDAD Y ESTABILIDAD FENOTÍPICA DEL CONTENIDO DE ACEITE EN GENOTIPOS DE SOJA EN DIFERENTES ENTORNOS

Celso Hackenhaar
Doutor em Biotecnologia e Biodiversidade Amazônica, UFT, Brasil
Email: celso@uft.edu.br

Joênes Mucci Peluzio
Doutor em Genética e Melhoramento, UFT, Brasil
E-mail: joenesp@uft.edu.br

Neusa Hackenhaar
Mestra em Agroenergia, UFT, Brasil
E-mail: neusahack@gmail.com

Alessandra Maria de Lima Naoe
Doutora em Biotecnologia e Biodiversidade Amazônica, UFT, Brasil
Email: alima@uft.edu.br

Maria Dilma de Lima
Doutora em Biodiversidade e Biotecnologia Amazônica, UFT, Brasil
E-mail: mariadilma@uft.edu.br

Douglas Martins da Costa
Doutorando em Biotecnologia e Biodiversidade Amazônica, UFT, Brasil
Email: douglasbio@uft.edu.br

Giani Raquel dos Santos Resplandes Gouvêa
Doutoranda em Biotecnologia e Biodiversidade Amazônica, UFT, Brasil
Email: gianidoutorado@gmail.com

Resumo

O teor de óleo em grãos de soja constitui um dos principais caracteres de interesse econômico, influenciando diretamente a qualidade industrial e o valor agregado da cultura. Entretanto, esse caráter quantitativo é fortemente influenciado pela interação genótipo x ambiente (GxA), dificultando a seleção de cultivares superiores, especialmente em condições edafoclimáticas variáveis, como no estado do Tocantins. Assim, estudos de adaptabilidade e estabilidade são fundamentais para identificar genótipos com desempenho previsível e consistente. O objetivo deste trabalho foi avaliar a adaptabilidade e estabilidade do teor de óleo em cultivares de soja submetidas a diferentes épocas de semeadura na região central do Tocantins. Foram conduzidos seis ensaios de competição de cultivares nos anos agrícolas 2023/24 e 2024/25, em delineamento de blocos casualizados com três repetições. Os ambientes foram constituídos por diferentes épocas de semeadura, sendo cada ensaio considerado um ambiente distinto. O teor de óleo foi determinado pelo método de Soxhlet, após a colheita em estádio R8. As análises estatísticas incluíram análise de variância conjunta, e foi utilizado método de Eberhart

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/03/2026 - **Accepted:** 14/05/2026
Vol: 13.09
DOI: 10.66104/qeg2h056
Pages: 1-17

e Russell (1966) para adaptabilidade e estabilidade. A interação GxA foi significativa, evidenciando comportamento diferencial das cultivares frente às variações ambientais. Houve predominância da fração complexa da interação, indicando dificuldade na seleção de materiais de ampla adaptação. As cultivares DM 82i78 IPRO, M8644 IPRO, NEO 790 IPRO e SOY AMPLA IPRO apresentaram adaptação a ambientes favoráveis, enquanto DM 79i81 IPRO, EXTREMA IPRO, FORTALEZA IPRO, OLIMPO IPRO e SOY COMBATE IPRO destacaram-se em ambientes desfavoráveis. Conclui-se que o ambiente de cultivo exerce forte influência sobre o acúmulo de óleo, e que os métodos utilizados foram eficazes para identificar cultivares com maior previsibilidade produtiva e potencial para recomendação em diferentes épocas de semeadura para a região de baixa latitude do Tocantins.

Palavras-chave: *Glycine max*; Interação GxA; Teores de lipídeos; época de semeadura

Abstract

The oil content in soybeans is one of the main traits of economic interest, directly influencing the industrial quality and added value of the crop. However, this quantitative trait is strongly influenced by the genotype x environment (GxA) interaction, making it difficult to select superior cultivars, especially under variable soil and climate conditions, such as those in the state of Tocantins. Thus, studies of adaptability and stability are essential for identifying genotypes with predictable and consistent performance. The objective of this study was to evaluate the adaptability and stability of oil content in soybean cultivars subjected to different planting seasons in the central region of Tocantins. Six cultivar competition trials were conducted during the 2023/24 and 2024/25 growing seasons, using a randomized block design with three replications. The environments consisted of different planting times, with each trial considered a distinct environment. Oil content was determined using the Soxhlet method after harvest at the R8 stage. Statistical analyses included combined analysis of variance, The method developed by Eberhart and Russell (1966) was used to assess adaptability and stability. The GxA interaction was significant, evidencing differential behavior of the cultivars in response to environmental variations. The complex fraction of the interaction predominated, indicating difficulty in selecting materials with broad adaptability. The cultivars DM 82i78 IPRO, M8644 IPRO, NEO 790 IPRO, and SOY AMPLA IPRO showed adaptation to favorable environments, while DM 79i81 IPRO, EXTREMA IPRO, FORTALEZA IPRO, OLIMPO IPRO, and SOY COMBATE IPRO stood out in unfavorable environments. It is concluded that the growing environment exerts a strong influence on oil accumulation, and that the methods used were effective in identifying cultivars with greater yield predictability and potential for recommendation during different planting seasons for the low-latitude region of Tocantins.

Keywords: *Glycine max*; GxA interaction; lipid content; planting season

Resumen

El contenido de aceite en los granos de soja constituye uno de los principales caracteres de interés económico, ya que influye directamente en la calidad industrial y el valor añadido del cultivo. Sin embargo, este caráter cuantitativo se ve fuertemente influenciado por la interacción genotipo x ambiente (GxA), lo que dificulta la selección de variedades superiores, especialmente en condiciones edafoclimáticas variables, como las del estado de Tocantins. Por lo tanto, los estudios de adaptabilidad y estabilidad son fundamentales para identificar genotipos con un rendimiento predecible y consistente. El objetivo de este trabajo fue evaluar la adaptabilidad y la estabilidad del contenido de aceite en variedades de soja sometidas a diferentes épocas de siembra en la región central de Tocantins. Se llevaron a cabo seis ensayos de competencia de cultivares en los años agrícolas 2023/24 y 2024/25, en un diseño de bloques aleatorios con tres repeticiones. Los ambientes estuvieron constituidos por diferentes épocas de siembra, considerándose cada ensayo como un ambiente distinto. El contenido de aceite se determinó mediante el método de Soxhlet, tras la cosecha en el estadio R8. Los análisis estadísticos incluyeron el análisis de varianza conjunto, Se utilizó el método de Eberhart y Russell (1966) para evaluar la adaptabilidade y la estabilidad. La interacción GxA fue significativa, lo que puso de manifiesto un comportamiento diferencial de las cultivares frente a las variaciones ambientales. Predominó la fracción compleja de la interacción, lo que indica una dificultad en la selección de materiales de amplia adaptación. Las cultivares DM 82i78 IPRO, M8644 IPRO, NEO 790 IPRO y SOY AMPLA IPRO mostraron adaptación a entornos favorables, mientras que DM 79i81 IPRO, EXTREMA IPRO, FORTALEZA IPRO, OLIMPO IPRO y SOY COMBATE IPRO destacaron en entornos desfavorables. Se concluye que el entorno de cultivo ejerce una fuerte influencia sobre la acumulación

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/03/2026 - **Accepted:** 14/05/2026
Vol: 13.09
DOI: 10.66104/qeg2h056
Pages: 1-17

de aceite, y que los métodos utilizados fueron eficaces para identificar variedades con mayor previsibilidad productiva y potencial para su recomendación en diferentes épocas de siembra para la región de baja latitud de Tocantins.

Palabras clave: *Glycine max*; Interacción GxA; Contenido de lípidos; época de siembra

1. Introdução

A cultura da soja no Cerrado brasileiro apresenta elevada importância econômica e estratégica, especialmente devido ao seu potencial para produção de óleo destinado à indústria alimentícia e de biocombustíveis. O sucesso da expansão da soja nessa região está diretamente relacionado ao desenvolvimento de cultivares adaptadas às condições edafoclimáticas de baixa latitude, com destaque para características como tolerância ao fotoperíodo e eficiência no uso de recursos ambientais (FUGANTI-PAGLIARINI, 2026).

Corbellini et al. (2024) salientam ainda que, fatores ambientais como disponibilidade hídrica, temperatura e fotoperíodo, oriundos do cultivo em épocas distintas de semeadura, exercem forte influência sobre o desempenho produtivo e a composição química dos grãos, sendo determinantes na expressão da interação genótipo x ambiente (GxA). Essa interação dificulta a recomendação de cultivares amplamente adaptadas, tornando essencial a aplicação de metodologias que permitam avaliar a estabilidade e a adaptabilidade dos genótipos (CRUZ; CASTOLDI, 1991).

Segundo apontado por Finoto et al. (2021), a resposta fisiológica da soja às diferentes épocas de semeadura depende da interação entre condições térmicas, disponibilidade hídrica e fotoperíodo ao longo do ciclo da cultura. Dessa forma, o efeito da época de semeadura não ocorre de maneira isolada, mas em associação às condições climáticas específicas de cada ano agrícola, influenciando diretamente a composição química dos grãos.

Hackenhaar et al., (2026) observaram que a resposta dos genótipos varia conforme a janela de semeadura, afetando diretamente o teor de óleo e sua estabilidade. Ainda segundo Hackenhaar et al., (2022), o teor de óleo é fortemente dependente da adequada combinação entre genótipo, ambiente e época de semeadura, sendo este um dos principais fatores para maximização da eficiência produtiva no Cerrado tocantinense.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/03/2026 - **Accepted:** 14/05/2026
Vol: 13.09
DOI: 10.66104/qeg2h056
Pages: 1-17

Segundo Junior et al. (2017), as semeaduras tardias tendem a reduzir o teor de óleo em soja, devido a condições ambientais menos favoráveis durante o enchimento de grãos.

Apesar dos avanços, ainda existem lacunas relacionadas à identificação de genótipos que aliem elevados teores de óleo à estabilidade de desempenho em diferentes ambientes e épocas de semeadura. Essa limitação é particularmente relevante em regiões com elevada variabilidade climática, onde a previsibilidade do comportamento das cultivares é essencial para sistemas produtivos sustentáveis (SALMERÓN, 2022).

Assim, diferentes abordagens estatísticas têm sido utilizadas para estudar a GxA em culturas agrícolas. Métodos clássicos, como o de Eberhart e Russell, continuam sendo amplamente aplicados devido à sua simplicidade e interpretabilidade (SILVA, 2021).

Neste sentido, ensaios conduzidos em mais de um ano agrícola e em múltiplos ambientes são indispensáveis detectar a magnitude da interação genótipo x ambiente e discriminar genótipos de adaptação ampla, adaptação específica e maior estabilidade fenotípica. Para o teor de óleo, esse estudo permite identificar se o comportamento superior de um genótipo é recorrente ou condicionado a situações ambientais particulares.

Dessa forma, o presente estudo tem como objetivo avaliar a adaptabilidade, estabilidade e estratificação ambiental de genótipos de soja quanto ao teor de óleo, em diferentes épocas de semeadura e anos distintos, na região central do estado do Tocantins, visando subsidiar a identificação de cultivares que demonstraram desempenho relativo superior, à cada ambiente.

2. Metodologia

Foram conduzidos seis experimentos de competição de cultivares em condições de campo na área experimental da Universidade Federal do Tocantins (UFT), Campus de Palmas (10°45' S, 48°14' W; altitude de 280 m). O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico. As propriedades químicas e físicas da camada superficial (0-20 cm) apresentaram os seguintes valores: : pH: 5,25; K:55,5 mg.dm^{-3}; P: 11,615 mg.dm^{-3}; Ca: 1,39 mE/100 ml; Mg; 0,40 mE/100 ml;

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/03/2026 - **Accepted:** 14/05/2026
Vol: 13.09
DOI: 10.66104/qeg2h056
Pages: 1-17

M.O.: 0,84%; CTC: 4,23% e SB: 54,81%.

Os ensaios foram conduzidos ao longo de dois anos agrícolas (2023/24 e 2024/25), com três épocas de semeadura em cada ano, totalizando seis ambientes distintos, resultantes da combinação entre as diferentes épocas de semeadura e os dois anos agrícolas, assim distribuídos: Ambiente 1: 17/11/23; Ambiente 2: 18/12/23; Ambiente 3: 06/01/24; Ambiente 4: 11/11/24; Ambiente 5: 05/12/24 e Ambiente 6: 06/01/25.

O delineamento experimental utilizado em todos os ambientes foi o de blocos casualizados (DBC), com três repetições. Foram avaliadas 12 cultivares de soja, selecionadas pela adaptação a condições de baixa latitude e por representarem diferentes programas de melhoramento (públicos e privados), englobando materiais transgênicos: DM 79i81 IPRO, DM 82i78 IPRO, DM 83iX84 RSF 12X, EXTREMA IPRO, FORTALEZA IPRO, M 8644 IPRO, NEO 790 IPRO, NEO 820 IPRO, OLIMPO IPRO, SOY AMPLA IPRO, SOY COMBATE IPRO e SOY MURALHA IPRO.

As parcelas experimentais foram constituídas por quatro fileiras de 5,0 m de comprimento, com espaçamento de 0,45 m entre linhas. Como área útil, consideraram-se as duas fileiras centrais, desprezando-se 0,50 m das extremidades de cada linha, totalizando 3,6 m^2 por parcela.

O preparo do solo consistiu em calagem, aração, gradagem e sulcamento. A adubação de semeadura e o manejo fitossanitário (controle de pragas, doenças e plantas daninhas) foram realizados seguindo as recomendações técnicas para a cultura da soja na região, conforme a necessidade e a análise de solo prévia.

O teor de óleo foi determinado a partir de amostras de grãos colhidos no estádio fenológico R8. Após o beneficiamento e secagem até aproximadamente 13% de umidade, os grãos foram triturados em moinho até obtenção de farinha homogênea. Para cada parcela experimental, foram realizadas três repetições analíticas, utilizando-se 3 g da amostra triturada.

As amostras foram acondicionadas em cartuchos confeccionados com papel filtro e algodão previamente desengordurados e secos. A extração lipídica foi realizada pelo método de extração contínua em aparelho de Soxhlet, utilizando hexano como solvente, em extrator de óleos e graxas modelo MA 044/8/50, sob temperatura de aproximadamente 80 ºC e refluxo contínuo durante cinco horas.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/03/2026 - **Accepted:** 14/05/2026
Vol: 13.09
DOI: 10.66104/qeg2h056
Pages: 1-17

Após a extração, os balões contendo o extrato lipídico foram submetidos à secagem em estufa modelo 420-4D, a 105 ºC, até atingirem peso constante. O teor de óleo foi determinado gravimetricamente, conforme metodologia descrita pela AOAC (1995), sendo os resultados expressos em porcentagem.

Inicialmente, foram realizadas análises de variância (ANOVA) individuais para cada ambiente. Após a verificação da homogeneidade das variâncias residuais (QmR), por meio da razão entre o maior e o menor quadrado médio residual, adotando-se o critério de concordância inferior a sete, procedeu-se à análise de variância conjunta.

A adaptabilidade e estabilidade fenotípica foram estimadas pelo método de Eberhart e Russell (1966), fundamentado na regressão linear simples. Para a estratificação ambiental, utilizou-se o algoritmo de Lin (1982), baseado no agrupamento de ambientes com interação GxA não significativa. Adicionalmente, a interação GxA foi decomposta em suas frações simples e complexa, conforme Cruz e Castoldi (1991).

As análises foram realizadas pelo programa computacional Genes (Cruz, 2013).

3. Resultados e Discussão

A análise de variância conjunta (Tabela 1) revelou efeitos significativos ($p<0,05$) para genótipos, ambientes e para a interação genótipos x ambientes (GxA), evidenciando a existência de variabilidade genética entre as cultivares, o efeito do ambiente e o comportamento diferencial dos materiais frente às condições ambientais impostas pelas diferentes épocas de semeadura nos dois anos agrícolas.

Esse resultado indica que o desempenho produtivo para teor de óleo não foi consistente entre os seis ambientes, reforçando a necessidade de análises de adaptabilidade, estabilidade e estratificação ambiental para subsidiar a recomendação de cultivares na região (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

A significância simultânea dos fatores ambientais e cultivares corrobora a premissa de que a recomendação de cultivares de soja baseada unicamente na média geral pode conduzir a indicações equivocadas, uma vez que o genótipo de melhor

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/03/2026 - **Accepted:** 14/05/2026
Vol: 13.09
DOI: 10.66104/qeg2h056
Pages: 1-17

desempenho em um ambiente pode não manter a mesma posição em outro (RAMALHO et al., 2012).

O coeficiente de variação experimental (CV=2,5%) situou-se em faixa considerada baixa para ensaios de campo com soja, conferindo elevada confiabilidade aos resultados obtidos (SCAPIM; CARVALHO; CRUZ, 1995).

Resultados semelhantes, com significância da interação G x A para teor de óleo em soja, foram relatados por Lopes et al. (2018), que avaliaram linhagens em múltiplos ambientes no estado de São Paulo, e por Gesteira et al. (2015), que verificaram a magnitude expressiva dessa interação em ensaios conduzidos no Cerrado mineiro.

Tabela 1. Resumo da análise de variância conjunta do teor de óleo (%) em seis ambientes de avaliação, de doze cultivares de soja, oriundos da combinação de três épocas de semeadura em dois anos agrícolas 2023/24 e 2024/25, em Palmas – TO.

fonte de variação	GL	Quadrado médio Teor de óleo (%)
Bloco/Ambiente	12	0.4171
Genótipo	11	17.8650*
Ambiente	5	34.1732*
Genótipo x Ambiente	55	5.7065*
Resíduo	132	0.3127
Média (%)		22.27
CV%		2.5

* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

A decomposição da interação G x A em frações simples e complexa, conforme o método de Cruz & Castoldi (1991) (Tabela 2), revelou predomínio da fração complexa (%FC > 50%) para a maioria dos pares de ambientes, caracterizando alteração na classificação relativa das cultivares entre os ambientes avaliados.

Valores de fração complexa superiores a 100% e fração simples negativa podem ocorrer especialmente em situações de baixa e/ou negativa correlação entre ambientes, que pode resultar em elevada mudança no ordenamento relativo dos genótipos.

Dos quinze pares de ambientes possíveis, apenas quatro apresentaram predominância da fração simples (pares 1x5, 2x5, 4x5 e 4x6), enquanto os demais onze pares exibiram fração complexa superior a 50%. Destaca-se que os pares envolvendo o ambiente 3 (semeadura de 06/01/2024) com os ambientes 1 e 4

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/03/2026 - **Accepted:** 14/05/2026
Vol: 13.09
DOI: 10.66104/qeg2h056
Pages: 1-17

apresentaram frações complexas extremamente elevadas (110,4% e 94,7%) respectivamente, indicando inversão quase total na classificação genotípica entre esses ambientes. Esse comportamento indica que cultivares superiores em determinados ambientes não mantiveram o mesmo desempenho relativo nos demais, dificultando a recomendação generalista e evidenciando forte influência das condições ambientais sobre a expressão fenotípica do teor de óleo nos grãos.

A predominância da fração complexa é particularmente relevante para o caráter teor de óleo, cuja expressão está fortemente vinculada às condições termofotoperiódicas durante as fases reprodutivas R5 a R7 (BELLALOUI, 2015).

Esse padrão de interação complexa também foi observado por Barros et al. (2012), que encontraram predomínio de FC > 50% ao avaliar genótipos de soja em diferentes locais e anos no estado de Minas Gerais, e por Polizel et al. (2013), em estudo realizado com cultivares de soja em ambientes do Cerrado goiano.

Conforme destacado por Cruz, Regazzi e Carneiro (2012), a interação de natureza complexa demanda a adoção de estratégias diferenciadas de recomendação, como estudos de adaptabilidade e estabilidade e estratificação ambiental.

Tabela 2. Estimativas da fração simples (%FS) e fração complexa (%FC) da interação G x A entre os pares de 06 ambientes de avaliação, em doze cultivares de soja, baseadas no teor de óleo (%), oriundos da combinação de três épocas de semeadura em dois anos agrícolas 2023/24 e 2024/25, com base no método de Cruz & Castoldi (1991), em Palmas – TO.

Par	%FS	%FC	Par	%FS	%FC	Par	%FS	%FC	Par	%FS	%FC
1x2	29.3	70.7	**1x3**	-10.4	110.4	**1x4**	26.5	73.5	**1x5**	53.9	46.1
1x6	50.0	50.0	**2x3**	11.3	88.7	**2x4**	24.8	75.2	**2x5**	58.6	41.4
2x6	15.3	84.7	**3x4**	5.3	94.7	**3x5**	43.0	57.0	**3x6**	54.8	45.2
4x5	67.4	32.6	**4x6**	54.8	45.2	**5x6**	9.0	91.0			

Fonte: dados da pesquisa

Os índices ambientais (Ia) estimados pelo método de Eberhart e Russell (1966) (Tabela 3) classificaram como favoráveis (Ia > 0) os ambientes correspondentes às semeaduras realizadas em 18/12/2023 (Ia = 0,31), 06/01/2024 (Ia = 1,25) e 05/12/2024 (Ia = 0,74), enquanto que os ambientes provenientes das semeaduras de 17/11/2023 (Ia = −0,72), 11/11/2024 (Ia = −0,17) e 06/01/2025 (Ia = −1,41) foram considerados desfavoráveis (Ia < 0)

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/03/2026 - **Accepted:** 14/05/2026
Vol: 13.09
DOI: 10.66104/qeg2h056
Pages: 1-17

Ressalta-se que o ambiente referente à semeadura em 06/01/24 (ambiente 3), por ter apresentado o maior índice ambiental (Ia = 1,25) e a maior média de teor de óleo (23,52%), apresentou-se como o mais favorável ao incremento do acúmulo de lipídios nos grãos. Em contrapartida, o ambiente 6 (semeadura de 06/01/2025) apresentou o menor índice ambiental (Ia = −1,41) e a menor média de teor de óleo (20,87%), representando o ambiente mais restritivo para o caráter avaliado.

A média geral de teor de óleo foi de 22,27%, valor compatível com a faixa de 18 a 24% reportada para cultivares tropicais brasileiras (SEDIYAMA et al., 2015).

Tabela 3. Índice ambiental (Ia) de seis ambientes, para teor de óleo (%), obtidos pelo método de Eberhart & Russell (1966), oriundos da combinação de três épocas de semeadura em dois anos agrícolas 2023/24 e 2024/25, em Palmas – TO.

Índice ambiental		
Ambiente	Teor médio de óleo (%)	Índice(Ia)
Semeadura 17/11/2023	21.55	-0.72
Semeadura 18/12/2023	22.59	0.31
Semeadura 06/01/2024	23.52	1.25
Semeadura 11/11/2024	22.11	-0.17
Semeadura 05/12/2024	23.01	0.74
Semeadura 06/01/2025	20.87	-1.41
Média Geral	22.27	

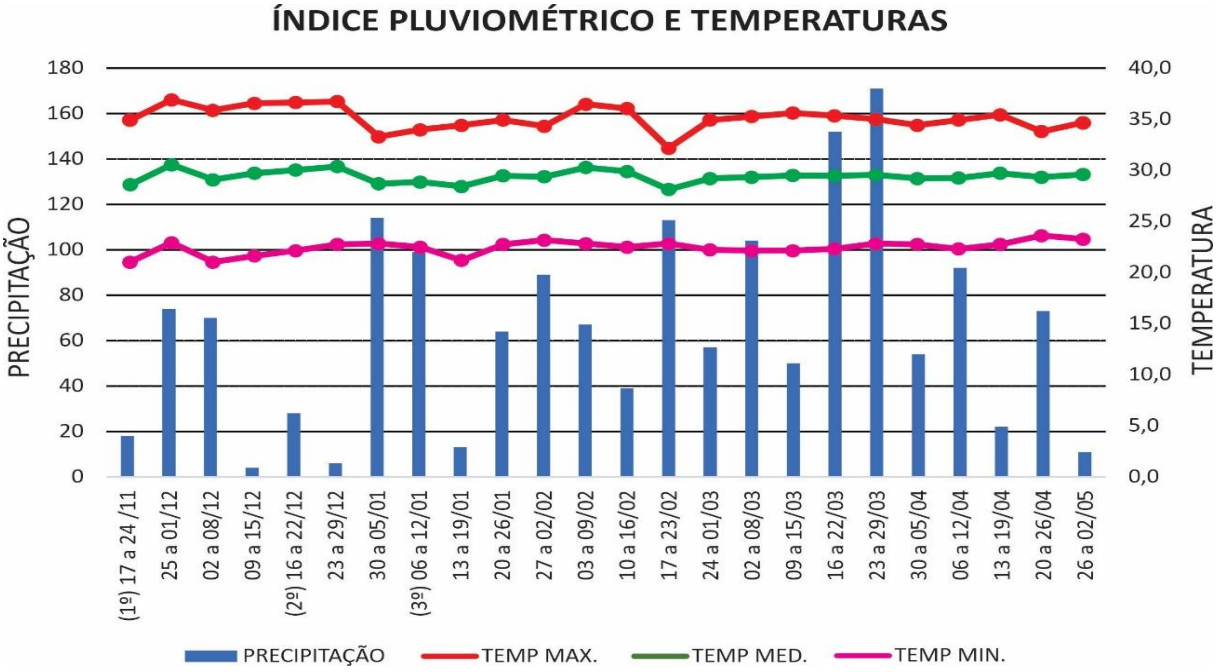
Fonte: dados da pesquisa.

A predominância da interação de natureza complexa, bem como a classificação dos ambientes, está diretamente associada à variabilidade climática observada entre os ambientes, especialmente quanto à distribuição das precipitações e às oscilações térmicas ao longo do ciclo da cultura (Figuras 1 e 2). Os dados meteorológicos do período experimental evidenciam variações expressivas entre os dois anos agrícolas e entre as três épocas de semeadura dentro de cada ano.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

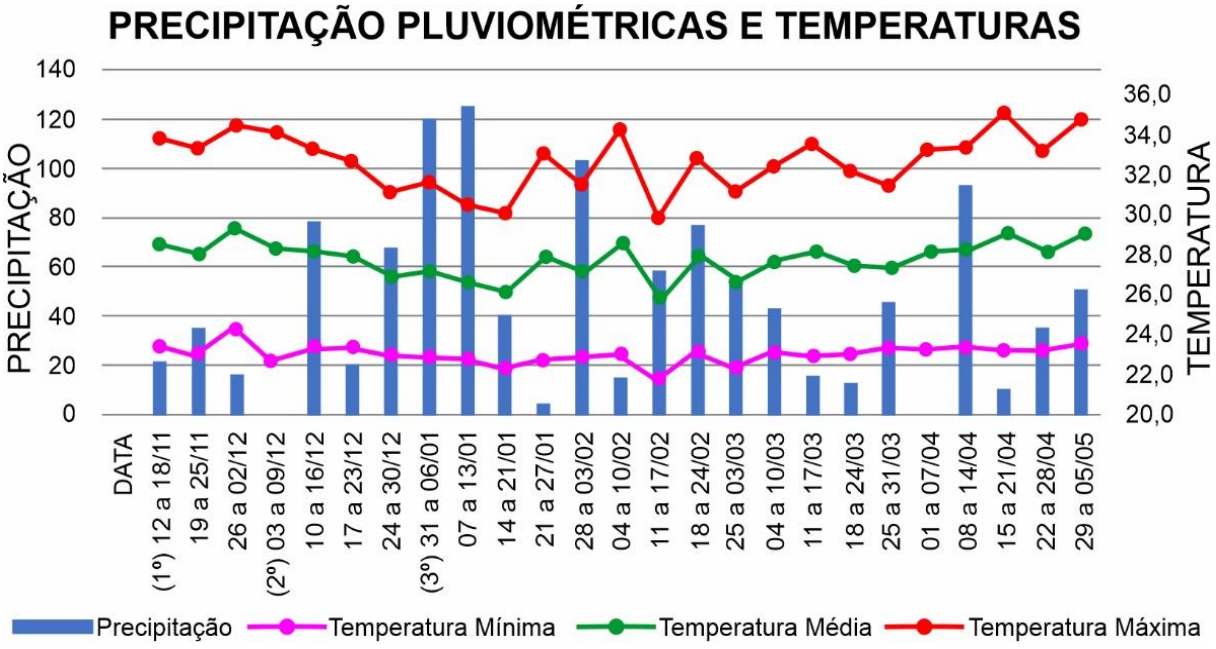
Received: 13/03/2026 - **Accepted:** 14/05/2026
Vol: 13.09
DOI: 10.66104/qeg2h056
Pages: 1-17

Figura 1. Precipitação pluvial semanal acumulada (mm) e temperaturas máximas e mínimas médias (°C) durante o ciclo da cultura da soja nos ambientes correspondentes às semeaduras realizadas no ano agrícola 2023/24, em Palmas – TO.



Fonte: Temperatura (Inmet) Precipitação (coleta no local pelo autor)

Figura 1. Precipitação pluvial semanal acumulada (mm) e temperaturas máximas e mínimas médias (°C) durante o ciclo da cultura da soja nos ambientes correspondentes às semeaduras realizadas no ano agrícola 2023/24, em Palmas – TO.



Fonte: Temperatura (Inmet) Precipitação (coleta no local pelo autor)

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/03/2026 - **Accepted:** 14/05/2026
Vol: 13.09
DOI: 10.66104/qeg2h056
Pages: 1-17

No ano agrícola 2023/24 (Figura 1), a semeadura de janeiro/2024 (ambiente 3), embora tardia, coincidiu com condições de temperaturas amenas e precipitação ainda adequada durante o enchimento de grãos, favorecendo o acúmulo de óleo e proporcionando o maior teor entre todos os ambientes (23,52%).

Por outro lado, no ano agrícola 2024/25 (Figura 2), o ambiente 6 (semeadura de janeiro/2025) foi o mais restritivo, apresentando o menor teor de óleo (20,87%). As condições climáticas para esse ambiente indicaram regime pluviométrico reduzido e temperaturas mais elevadas durante as fases reprodutivas, configurando estresse hídrico e térmico que comprometeram a biossíntese e o acúmulo de lipídios nos grãos.

A relação entre as condições climáticas e o teor de óleo observada nos diferentes ambientes é coerente com a literatura científica. Segundo Bellaloui et al. (2015), temperaturas elevadas durante o enchimento de grãos, especialmente acima de 30ºC, podem alterar a composição e o teor de óleo, sendo que estresses térmicos intensos combinados com déficit hídrico tendem a reduzir o conteúdo lipídico total.

Nesse contexto, Staniak et al. (2023) relatam que a variação da temperatura ao longo do ciclo da cultura interfere diretamente na regulação do desenvolvimento fenológico, especialmente durante o enchimento de grãos, afetando a atividade fotossintética, a translocação de fotoassimilados e o metabolismo envolvido na biossíntese de ácidos graxos. Assim, condições térmicas fora da faixa considerada ideal, nas condições avaliadas, podem acelerar a senescência foliar e reduzir a duração do período efetivo de enchimento de grãos, limitando o acúmulo de carbono nos tecidos de reserva e comprometendo tanto a síntese de óleo quanto os componentes relacionados ao rendimento produtivo.

O acúmulo de óleo em grãos de soja está diretamente associado à disponibilidade de fotoassimilados durante as fases reprodutivas, especialmente entre R_5 e R_7, (tabela 4) período em que ocorre intensa atividade metabólica relacionada à síntese de ácidos graxos e compostos lipídicos de reserva. Nessas fases, fatores ambientais como temperatura e disponibilidade hídrica exercem forte influência sobre a taxa fotossintética, atividade enzimática e duração do enchimento de grãos.

Temperaturas moderadas associadas à adequada disponibilidade hídrica favorecem maior permanência da área foliar fotossinteticamente ativa e prolongam o período efetivo de enchimento de grãos, contribuindo para maior acúmulo de carbono

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/03/2026 - **Accepted:** 14/05/2026
Vol: 13.09
DOI: 10.66104/qeg2h056
Pages: 1-17

nos tecidos de reserva e incremento do teor de óleo. Em contrapartida, condições de déficit hídrico e temperaturas elevadas podem acelerar a senescência foliar, reduzir a assimilação de carbono e comprometer a atividade metabólica envolvida na biossíntese lipídica.

Tabela 4. Caracterização meteorológica dos ambientes experimentais de soja, constituídos pela combinação entre épocas de semeadura e dois anos agrícolas (2023/24 e 2024/25) em Palmas – TO.

Ambiente	Época de semeadura	Precipit. acumulada (mm)	Temp. média (°C)	Temp. máxima média (°C)	Temp. mínima média (°C)
Ambiente 1	17/11/2023	1500	28,7	35,1	22,3
Ambiente 2	18/12/2023	1166	28,7	34,9	22,5
Ambiente 3	06/01/2024	1270	28,6	34,7	22,6
Ambiente 4	11/11/2024	781	27,6	32,3	22,9
Ambiente 5	05/12/2024	820	27,4	32,0	22,7
Ambiente 6	06/01/2025	902	27,6	32,3	22,9

A análise dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade pelo método de Eberhart e Russell (1966) (Tabela 5) revelou que todas as cultivares apresentaram desvios da regressão significativos ($S^2d \neq 0$), evidenciando que o comportamento dos cultivares não foi completamente previsível entre os ambientes estudados Esse resultado é coerente com a predominância da fração complexa da interação G x A (tabela 2) que evidencia a elevada sensibilidade dos genótipos às variações ambientais quanto ao caráter teor de óleo.

A instabilidade generalizada pode ser atribuída à ampla variação climática entre os seis ambientes avaliados, particularmente no que se refere à distribuição pluviométrica e às oscilações térmicas ao longo dos ciclos produtivos. Conforme ressaltam Cruz, Regazzi e Carneiro (2012), quando a variabilidade ambiental é elevada, é comum a ocorrência de desvios significativos da regressão.

Tabela 5. Parâmetros de Adaptabilidade (B_1) e estabilidade S^2d, para teor de óleo (%) pelo método de Eberhart & Russell (1966) em seis ambientes oriundos da combinação de três épocas de semeadura em dois anos agrícolas 2023/24 e 2024/25, em Palmas – TO.

Cultivar	Médias	Eberhart & Russel	
	(%)	B_1	S^2d
DM 79i81 IPRO	21.57	-0.13*	2.34*
DM 82i78 IPRO	22.24	1.86*	0.29*
DM 83iX84 RSF 12X	22.43	1.01	0.18*
EXTREMA IPRO	23.36	0.65*	1.71*
FORTALEZA IPRO	21.05	0.16*	4.74*

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/03/2026 - **Accepted:** 14/05/2026
Vol: 13.09
DOI: 10.66104/qeg2h056
Pages: 1-17

M 8644 IPRO	20.73	1.63*	0.35*
NEO 790 IPRO	22.70	1.68*	1.49*
NEO 820 IPRO	23.40	1.13	1.17*
OLIMPO IPRO	23.07	0.33*	1.64*
SOY AMPLA IPRO	20.77	2.38*	1.46*
SOY COMBATE IPRO	22.87	0.18*	0.54*
SOY MURALHA IPRO	23.06	1.11	0.95*
Média Geral	22.27		

Fonte: dados da pesquisa

B_1= Coeficiente da regressão; S^2d= desvios da regressão ns= significativo a 5% e não significativo respectivamente pelo teste t. para (B_1) e teste F para (S^2d).

Quanto à adaptabilidade, as cultivares foram classificadas em três grupos distintos, de acordo com os coeficientes de regressão (B_1).

As cultivares DM 82i78 IPRO (B_1 = 1,86), M 8644 IPRO (B_1 = 1,63), NEO 790 IPRO (B_1 = 1,68) e SOY AMPLA IPRO (B_1 = 2,38) apresentaram coeficientes de regressão significativamente superior à unidade ($B_1 > 1$), caracterizando adaptação aos ambientes favoráveis. Esses cultivares demonstram elevada responsividade à melhoria ambiental, ou seja, são materiais que maximizam o teor de óleo quando cultivados em condições de maior disponibilidade hídrica e temperaturas adequadas.

Dentre esses, merece destaque a cultivar NEO 790 IPRO, que além de responsiva apresentou teor médio de óleo (22,70%) superior à média geral (22,27%), combinando responsividade com desempenho satisfatório. A cultivar SOY AMPLA IPRO, embora apresente a maior responsividade (B_1 = 2,38), obteve média de teor de óleo (20,77%) inferior à média geral, indicando que sua elevada responsividade não se traduz necessariamente em desempenho superior quando as condições ambientais não são ótimas.

As cultivares DM 79i81 IPRO (B_1 = −0,13), EXTREMA IPRO (B_1 = 0,65), FORTALEZA IPRO (B_1 = 0,16), OLIMPO IPRO (B_1 = 0,33) e SOY COMBATE IPRO (B_1 = 0,18) apresentaram coeficientes de regressão significativamente inferiores à unidade ($B_1 < 1$), revelando adaptação específica aos ambientes desfavoráveis. Essas cultivares apresentam menor resposta à melhoria do ambiente para o teor de óleo, porém tendem a manter desempenho mais estável em condições adversas.

Dentre essas, destacam-se EXTREMA IPRO (23,36%), OLIMPO IPRO (23,07%) e SOY COMBATE IPRO (22,87%), que apresentaram médias de teor de

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/03/2026 - **Accepted:** 14/05/2026
Vol: 13.09
DOI: 10.66104/qeg2h056
Pages: 1-17

óleo superiores à média geral, evidenciando maior rusticidade e melhor desempenho em condições adversas de cultivo. Conforme relatado por Polizel et al. (2013), cultivares com adaptação a ambientes desfavoráveis e média acima da geral são altamente desejáveis para regiões com elevada variabilidade climática interanual.

Ainda de acordo com a metodologia de Eberhart e Russell (1966), as cultivares DM 83iX84 RSF 12X, NEO 820 IPRO, e SOY MURALHA IPRO apresentaram coeficientes de regressão estatisticamente iguais à unidade ($B_1 = 1$), indicando adaptabilidade geral ou ampla, isto é, respondem de forma proporcional à variação ambiental. Esses cultivares são indicadas tanto para ambientes favoráveis quanto desfavoráveis, constituindo opções versáteis para o sistema produtivo. Dessas cultivares, apenas NEO 820 IPRO apresentou teor médio de óleo superior à média geral, demonstrando desempenho agronômico favorável nas condições avaliadas, embora com baixa previsibilidade fenotípica em função dos desvios significativos da regressão.

Entretanto, conforme ressaltado pelo modelo de Eberhart e Russell (1966), não foi identificado, no presente estudo, um genótipo que reúna simultaneamente elevado teor de óleo, ampla adaptabilidade ($B_1 = 1$) e alta estabilidade ($S^2d = 0$). Essa dificuldade em identificar genótipos "ideais" para teor de óleo também foi reportada por Maia et al. (2014) e por Lopes et al. (2018), que atribuíram esse resultado à complexidade do caráter governado por múltiplos genes com forte componente ambiental.

Na análise de estratificação ambiental, realizada pelo método do algoritmo de Lin (1982), não houve a formação de nenhum grupo de ambientes similares, indicando ausência de similaridade significativa entre os seis ambientes avaliados. Esse resultado revela que combinações oriundas de anos agrícolas e/ou épocas de semeadura foram suficientes para gerar condições ambientais distintas, cada uma impondo pressões seletivas diferenciadas sobre a expressão do teor de óleo.

A não formação de agrupamentos ambientais reforça a importância da condução de ensaios em múltiplos ambientes para a avaliação adequada de cultivares e subsidia a recomendação regionalizada e por época de semeadura.

Resultados semelhantes foram relatados por Gesteira et al. (2015) Silva et al. (2021) que enfatizaram que a elevada variabilidade climática em regiões tropicais,

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/03/2026 - **Accepted:** 14/05/2026
Vol: 13.09
DOI: 10.66104/qeg2h056
Pages: 1-17

como o Cerrado brasileiro, impede a formação de grupos homogêneos de ambientes, mantendo a necessidade de redes experimentais amplas para recomendação de cultivares.

Os resultados obtidos demonstram a importância da condução de ensaios multiambientes para caracteres quantitativos fortemente influenciados pela interação GxA, como o teor de óleo em soja, especialmente em regiões tropicais de elevada variabilidade climática.

4. Conclusão

1. A interação genótipos x ambientes foi significativa e predominantemente de natureza complexa para o teor de óleo em soja, evidenciando elevada influência das condições ambientais sobre a expressão fenotípica do caráter;
2. As respostas das cultivares dependeram da combinação específica entre ano agrícola e época de semeadura, demonstrando que o efeito da semeadura não pode ser interpretado isoladamente;
3. As cultivares NEO 790 IPRO, DM 82i78 IPRO, M 8644 IPRO e SOY AMPLA IPRO apresentaram maior adaptação a ambientes favoráveis;
4. EXTREMA IPRO, OLIMPO IPRO e SOY COMBATE IPRO demonstraram melhor desempenho em ambientes desfavoráveis;
5. A cultivar NEO 820 IPRO apresentou adaptabilidade ampla, embora tenha apresentado baixa previsibilidade.
6. A ausência de agrupamento ambiental reforça a necessidade de avaliação em múltiplos ambientes para recomendação mais segura de cultivares na região central do Tocantins.

5. Agradecimentos

FAPT – Fundação de Apoio à Pesquisa do Tocantins,
CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
Pela Bolsa de estudos e apoio no projeto “fixação de jovens doutores” do edital FAPT/CNPq Nº 01/2022

Referências

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/03/2026 - **Accepted:** 14/05/2026
Vol: 13.09
DOI: 10.66104/qeg2h056
Pages: 1-17

AOAC - ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 16. ed. Washington, DC, 1995.

BARROS, H. B.; SEDIYAMA, T.; TEIXEIRA, R. C.; CRUZ, C. D. Análises paramétricas e não-paramétricas para determinação da adaptabilidade e estabilidade de genótipos de soja. Scientia Agraria, Curitiba, v. 13, n. 2, p. 105-114, 2012.

BELLALOUI, N.; MENGISTU, A.; WALKER, E. R.; YOUNG, L. D. Soybean seed composition as affected by seeding rates and row spacing. Crop Science, Madison, v. 54, n. 4, p. 1782-1795, 2015.

CORBELLINI, M. et al. Geographical adaptability for optimizing the recommendation of soybean cultivars in the Brazilian Cerrado. Scientific Reports, v. 14, 2024. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-024-63809-y

CRUZ, C. D.; CASTOLDI, F. L. Decomposição da interação genótipos x ambientes em partes simples e complexa. Revista Ceres, Viçosa, v. 38, n. 219, p. 422-430, 1991.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. 4. ed. Viçosa: UFV, 2012. 514 p.

CRUZ, C. D. Programa Genes: versão Windows – Aplicativo computacional em genética e estatística. Viçosa: UFV, 2013.

EBERHART, S. A.; RUSSELL, W. A. Stability parameters for comparing varieties. Crop Science, Madison, v. 6, n. 1, p. 36-40, 1966.

FINOTO, E. L.; SOARES, M. B. B.; CORREIA, A. N.; ALBUQUERQUE, J. A. A.; SILVA, E. S. Épocas de semeadura na adaptação e estabilidade quanto à produtividade e teores de óleo e proteína de genótipos de soja. Revista Caatinga, Mossoró, v. 34, n. 4, p. 910-921, 2021. DOI: 10.1590/1983-21252021v34n407rc.

FUGANTI-PAGLIARINI, R.; et al. Soybean genetic engineering in Brazil and South America: a review. Genetics and Molecular Biology, v. 49, n. 1, e20250007, 2026. DOI: 10.1590/1678-4685-gmb-2025-0007.

GESTEIRA, G. S.; et al. Seleção fenotípica de cultivares de soja precoce para a região Sul de Minas Gerais. Revista Agrogeoambiental, Pouso Alegre, v. 7, n. 3, p. 79-88, 2015. DOI: 10.18406/2316-1817v7n32015730.

HACKENHAAR, C. et al. Análise multivariada em diferentes épocas de semeadura e doses de potássio em soja. Revista em Agronegócio e Meio Ambiente, v. 15, n. 2, 2022. DOI: 10.17765/2176-9168.2022v15n2e8972.

HACKENHAAR, C. et al. Produtividade de óleo de soja para biodiesel em diferentes épocas de semeadura no Cerrado tocantinense. Remunom, v. 13, n. 1, 2026. DOI: 10.66104/vqdt3q53.

PIEROZAN JUNIOR, C.; KAWAKAMI, J.; SCHWARZ, K.; UMBURANAS, R. C.; DEL CONTE, M. V.; MÜLLER, M. M. L. Sowing dates and soybean cultivars influence seed yield, oil and protein contents in subtropical environment. Journal of Agricultural Science, v. 9, n. 6, p. 188-198, 2017. DOI: 10.5539/jas.v9n6p188.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/03/2026 - **Accepted:** 14/05/2026
Vol: 13.09
DOI: 10.66104/qeg2h056
Pages: 1-17

LIN, C. S. Grouping genotypes by a cluster method directly related to genotype-environment interaction mean square. Theoretical and Applied Genetics, Berlin, v. 62, n. 3, p. 277-280, 1982.

LOPES, Á. C. A.; VELLO, N. A.; PANDINI, F.; ROCHA, M. M.; TSUTSUMI, C. Y. Variabilidade e correlações entre caracteres em cruzamentos de soja. Scientia Agricola, Piracicaba, v. 59, n. 2, p. 341-348, 2018.

MAIA, M. C. C.; VELLO, N. A.; ROCHA, M. M.; PINHEIRO, J. B.; SILVA JÚNIOR, N. F. Adaptabilidade e estabilidade de linhagens experimentais de soja selecionadas para caracteres agronômicos através de método uni-multivariado. Bragantia, Campinas, v. 73, n. 2, p. 111-121, 2014.

POLIZEL, A. C.; JULIATTI, F. C.; HAMAWAKI, O. T.; HAMAWAKI, R. L.; GUIMARÃES, S. L. Adaptabilidade e estabilidade fenotípica de genótipos de soja no Estado do Mato Grosso. Bioscience Journal, Uberlândia, v. 29, n. 4, p. 910-920, 2013.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; NUNES, J. A. R.; SANTOS, J. B. Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas. Lavras: UFLA, 2012. 522 p.

SALMERÓN, M.; et al. Regional analysis of planting date and cultivar maturity recommendations that improve soybean oil yield and meal protein concentration. Frontiers in Plant Science, v. 13, art. 954111, 2022. DOI: 10.3389/fpls.2022.954111.

SILVA, K. E. F.; VALE, J. C.; FRITSCHE-NETO, R.; MARQUES, J. N. Projeção GGE biplot na inferência de adaptabilidade e estabilidade da soja em um centro agrícola do Paraná. Revista Ciência Agronômica, Fortaleza, v. 52, n. 1, e20186575, 2021. DOI: 10.5935/1806-6690.20210009.

SCAPIM, C. A.; CARVALHO, C. G. P.; CRUZ, C. D. Uma proposta de classificação dos coeficientes de variação para a cultura do milho. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 30, n. 5, p. 683-686, 1995.

SEDIYAMA, T.; SILVA, F. L.; BORÉM, A. Soja: do plantio à colheita. Viçosa: UFV, 2015. 333 p.

STANIAK, M.; SZPUNAR-KROK, E.; KOCIRA, A. Responses of soybean to selected abiotic stresses—photoperiod, temperature and water. Agriculture, v. 13, n. 1, p. 146, 2023. DOI: 10.3390/agriculture13010146.

.