

## **Ecofisiologia da soja em resposta a diferentes épocas de semeadura e densidades de cultivo**

**Ecophysiology of soybean in response to different sowing times and crop densities**

**Ecofisiología de la soja en respuesta a distintas fechas de siembra y densidades de cultivo**

Recebido: 08/05/2023 | Revisado: 18/05/2023 | Aceitado: 19/05/2023 | Publicado: 24/05/2023

### **Márcio Peter**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0275-547X>  
Universidade Federal de Pelotas, Brasil  
E-mail: [marcio.peter@yahoo.com.br](mailto:marcio.peter@yahoo.com.br)

### **Maicon Mascarello Dallmann**

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-5705-0613>  
Universidade Federal de Pelotas, Brasil  
E-mail: [maiconmascarello01@gmail.com](mailto:maiconmascarello01@gmail.com)

### **Tiago Pedó**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4327-8021>  
Universidade Federal de Pelotas, Brasil  
E-mail: [tiago.pedo@gmail.com](mailto:tiago.pedo@gmail.com)

### **Tiago Zanatta Aumonde**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4790-8270>  
Universidade Federal de Pelotas, Brasil  
E-mail: [tiago.aumonde@gmail.com](mailto:tiago.aumonde@gmail.com)

### **Benhur Schwartz Barbosa**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8265-4598>  
Universidade Federal de Pelotas, Brasil  
E-mail: [benhursb97@outlook.com](mailto:benhursb97@outlook.com)

### **Letícia Barão Medeiros**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2862-7564>  
Universidade Federal de Pelotas, Brasil  
E-mail: [lele-medeiros@hotmail.com](mailto:lele-medeiros@hotmail.com)

### **João Roberto Pimentel**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6197-7224>  
Universidade Federal de Pelotas, Brasil  
E-mail: [jrobertopimentel@hotmail.com](mailto:jrobertopimentel@hotmail.com)

### **Resumo**

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma das culturas mais importantes do Brasil, sendo cultivada na maior parte do território brasileiro. O objetivo do estudo foi avaliar a ecofisiologia de plantas de soja em resposta a densidades de cultivo e épocas de semeadura. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados em esquema fatorial com duas épocas de semeadura, ou seja, 15 de novembro e 14 de dezembro de 2018 e com cinco densidades de plantas (160, 200, 240, 280 e 320 mil plantas por hectare), com quatro repetições. Os caracteres avaliados foram: clorofila “a” e “b”, índice de área foliar, matéria seca de raiz, matéria seca de caule, matéria seca de folha, matéria seca de vagens, número de vagens por planta, altura no estágio R1, número de nós reprodutivos e rendimento por planta. A soja cultivada na segunda quinzena de novembro favorece maiores teores de clorofila nas folhas, maior acúmulo de matéria seca nas raízes, caules e folhas, bem como maior produtividade. Não houve correlações significativas entre índice de área foliar e altura de planta em estágio R1, com o índice de produtividade. O cultivo da soja em menores densidades favorece maior número de nós reprodutivos, número de legumes e produtividade por planta expressando a plasticidade fenotípica da cultura.

**Palavras-chave:** Respostas ambientais; *Glycine max*; Densidade de plantas; Produção de sementes.

### **Abstract**

Soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) is one of the most important crops in Brazil, being cultivated in most of the Brazilian territory. The objective of the study was to evaluate the ecophysiology of soybean plants in response to crop densities and sowing times. The experimental design used was randomized blocks in a factorial scheme with two sowing dates that is, november 15 and december 14, 2018) and with five plant densities (160, 200, 240, 280 and 320 thousand plants per hectare), with four repetitions. The evaluated characters were: chlorophyll “a” and “b”, leaf area index, root dry matter, stem dry matter, leaf dry matter, pod dry matter, number of pods per plant, height at R1 stage, number of reproductive nodes and yield per plant. Soybean cultivated in the second half of november favors higher levels of chlorophyll in leaves, greater accumulation of dry matter in roots, stems and leaves, as well as increased

productivity. There were no significant correlations between leaf area index and plant height in stage R1, with the productivity index. Soybean cultivation at lower densities favors a greater number of reproductive nodes, number of pods and productivity per plant, expressing the phenotypic plasticity of the crop.

**Keywords:** Environmental responses; *Glycine max*; Plant density; Seed production.

### Resumen

La soja (*Glycine max* (L.) Merrill) es uno de los cultivos más importantes de Brasil, siendo cultivada en la mayor parte del territorio brasileño. El objetivo del estudio fue evaluar la ecofisiología de las plantas de soja en respuesta a las densidades de cultivo y tiempos de siembra. El diseño experimental utilizado fue de bloques al azar en esquema factorial con dos fechas de siembra, es decir, 15 de noviembre y 14 de diciembre de 2018 y con cinco densidades de plantación (160, 200, 240, 280 y 320 mil plantas por hectárea), con cuatro repeticiones. Los caracteres evaluados fueron: clorofila "a" y "b", índice de área foliar, materia seca de raíz, materia seca de tallo, materia seca de hoja, materia seca de vaina, número de vainas por planta, altura en estadio R1, número de nudos reproductivos y rendimiento por planta. La soja cultivada en la segunda quincena de noviembre favorece mayores niveles de clorofila en hojas, mayor acumulación de materia seca en raíces, tallos y hojas, así como mayor productividad. No hubo correlaciones significativas entre el índice de área foliar y la altura de la planta en la etapa R1, con el índice de productividad. El cultivo de soja a densidades más bajas favorece un mayor número de nudos reproductivos, número de vainas y productividad por planta, expresando la plasticidad fenotípica del cultivo.

**Palabras clave:** Respuestas ambientales; *Glycine max*; Densidad de plantas; Producción de semillas.

## 1. Introdução

A soja é uma cultura de grande importância econômica, cultivada em praticamente todo o território brasileiro, operando como a principal cultura de importância econômica (Modolo *et al.*, 2016). Os grãos de soja são utilizados principalmente para exportação, extração de óleo, produção de biodiesel e para alimentação humana e animal (Song *et al.*, 2023).

A semeadura da soja na Região Sul do Brasil ocorre entre os meses de outubro e dezembro de acordo com o ciclo de cada cultivar a ser semeada (Ministério da Agricultura e Pecuária, 2018). Genótipos precoces devem ser semeados no início da época de semeadura e cultivares normais e de ciclo mais longo são semeados entre novembro e dezembro. O cultivo de um mesmo genótipo de soja em diferentes épocas de semeadura proporciona às plantas diferentes condições de temperatura, radiação solar e chuva (Kumagai & Takahashi, 2020).

As plantas de soja possuem plasticidade ao meio ambiente, o que permite a resposta de diferentes formas a diferentes distribuições entre plantas através da emissão de ramos, número de entrenós e nós reproductivos. Essas mudanças na morfologia da planta permitem que mesmo em densidades menores sejam obtidos rendimentos semelhantes em relação à produtividade de sementes (Lee *et al.*, 2008; de Oliveira Procópio *et al.*, 2013; Petter *et al.*, 2016).

O melhoramento genético possibilitou o cultivo da soja em diversos ambientes agrícolas, nos quais se destacam locais comumente considerados como restritivos a cultura em decorrência das condições ambientais adversas ao pleno desenvolvimento (Ávila *et al.*, 2003; Bailey-Serres *et al.*, 2019).

O ambiente de produção afeta diretamente o crescimento das plantas de soja (Pedó *et al.*, 2015). A região sul do Rio Grande do Sul evidenciou uma grande expansão desta oleaginosa nos últimos anos, destacando seu potencial produtivo. No âmbito regional, a metade sul apresenta chuvas bem distribuídas ao longo do ciclo da cultura. No entanto, há poucos estudos sobre a produção de sementes nesta região. Fato que justifica o propósito de ampliar pesquisas, subsidiar a gestão e o planejamento dos recursos agrícolas para melhor compreender as práticas de manejo no processo produtivo de sementes para esta região.

Estudos que visem conhecer melhor as respostas das plantas durante o crescimento e produtividade em diferentes épocas de semeadura e com diferentes populações de plantas são importantes para estabelecer o manejo adequado para o microambiente. Diante disso, este trabalho teve como objetivo estudar a ecofisiologia de plantas de soja em resposta as diferentes populações de plantas e épocas de semeadura no sul do estado do Rio Grande do Sul.

## 2. Metodologia

O experimento foi conduzido na safra agrícola 2018/2019 no município de Turucu-RS, na latitude 31° 27'49" S e longitude 52° 11'41" W, a uma altitude de 7 metros. O solo é classificado como Planossolo Háplico Eutrófico Solódico (Solos, 2013). O clima é classificado como Cfa pela classificação de Köppen.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados em esquema fatorial com duas épocas de semeadura, ou seja, 15 de novembro e 14 de dezembro de 2018 e cinco densidades de cultivo, 160, 200, 240, 280 e 320 mil plantas por hectare, com quatro repetições. As unidades experimentais foram compostas por cinco linhas de cinco metros de comprimento espaçadas em 0,5 metros entre linhas. As duas linhas externas e 0,5 metros de cada extremidade das unidades experimentais foram descartadas para retirar o efeito bordadura, tornando a parcela útil de 1,5 metros de largura por quatro metros de comprimento resultando em uma área útil total de seis metros quadrados. O solo foi analisado em laboratório para correção de calagem e adubação, com auxílio do manual para solos do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (SBCS – CQFS, 2016), onde foram verificados os valores da Tabela 1.

**Tabela 1** - Características químicas das amostras de solo da área experimental.

| <b>P*</b>                | <b>K</b> | <b>S</b> | <b>CTC<sub>pH7</sub></b> | <b>H+Al</b>                 | <b>Al</b> | <b>Ca</b> | <b>Mg</b> |
|--------------------------|----------|----------|--------------------------|-----------------------------|-----------|-----------|-----------|
| <b>mg.dm<sup>3</sup></b> |          |          |                          | <b>mmolc.dm<sup>3</sup></b> |           |           |           |
| 77,2                     | 23       | 37,5     | 10,3                     | 3,1                         | 0,2       | 4,8       | 2,2       |

| <b>BS</b> | <b>Al</b> | <b>Clay</b> | <b>MO</b>                | <b>Cu</b> | <b>Zn</b> | <b>Mn</b> | <b>Na</b> |
|-----------|-----------|-------------|--------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>%</b>  |           |             | <b>mg/dm<sup>3</sup></b> |           |           |           |           |
| 70        | 2,7       | 22          | 1,66                     | 0,8       | 0,8       | 43        | 33        |

Fonte: Elaborado pelos autores.

A semeadura foi realizada manualmente com alta densidade de sementes e adubação de base de 300 kg<sub>ha</sub><sup>-1</sup> da formulação N-P-K na seguinte proporção 05-20-20, de acordo com a interpretação da análise de solo. Vinte dias após a emergência, foi realizado o desbaste das plantas nas densidades de 160, 200, 240, 280 e 320 mil plantas por hectare. O manejo fitossanitário foi realizado de acordo com as recomendações de manejo para a cultura da soja, a fim de evitar os efeitos de doenças e pragas.

A altura das plantas foi mensurada com auxílio de uma fita métrica, desde a base do solo até a última folha do caule principal, em estágio reprodutivo um (R1) de acordo com a escala fenológica de Fehr e Caviness (1977), fase de início do florescimento. Durante o estágio reprodutivo cinco (R5.5), o teor de clorofila "a" e "b" foi avaliado com um medidor de clorofila CFL 1030. A leitura foi realizada no folíolo central da folha mais nova completamente expandida em três plantas de cada parcela, na qual foi calculado a média entre as três leituras realizadas.

A incidência de radiação solar foi avaliada usando um leitor dotado de sensores de luz, modelo *LightScout* 3415FX com um piranômetro de silício modelo *LightScout* 3670I, acoplado na superfície da folha (15 cm acima das folhas da superfície) e entre as linhas de cultura a 10 cm do solo para determinar a interceptação da radiação pela cultura.

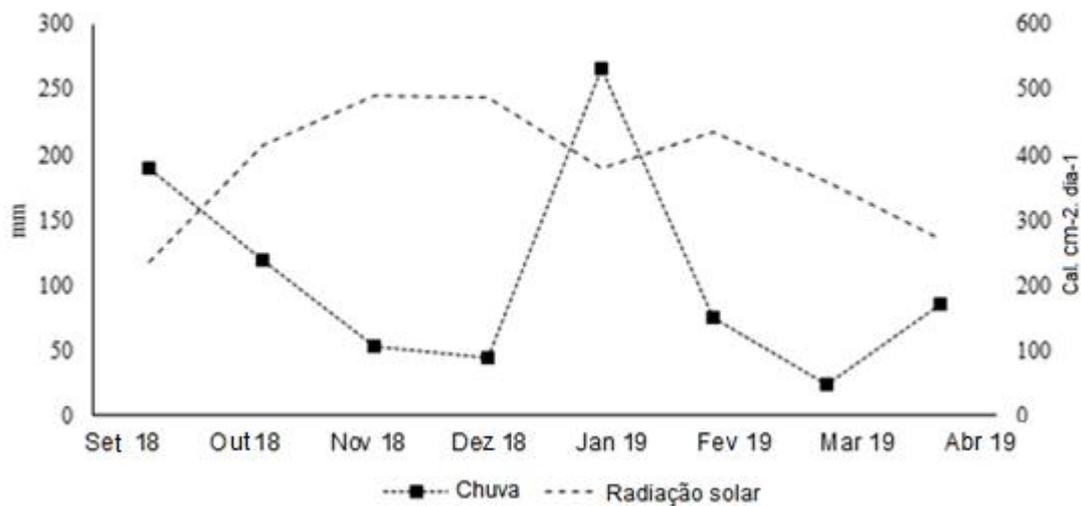
No estágio R5.5 também foram coletadas cinco plantas de cada unidade experimental, as partes das plantas foram separadas em raízes, caules, folhas e vagens. O índice de área foliar foi avaliado medindo-se a área foliar em cm<sup>2</sup> por planta em relação à área de solo ocupada pela mesma com o auxílio de um determinador fotoelétrico Licor 3100 (Falker, 2008). As

diferentes partes das plantas (raízes, caule, folhas e vagens) foram separadas e acondicionadas individualmente em embalagens de papel pardo. Posteriormente foram secas em estufa a 70°C até atingirem massa constante.

A colheita foi realizada manualmente quando as sementes estavam com 16% de umidade, contando o número de vagens totais e nós reprodutivos e determinando o rendimento em gramas por planta avaliando 10 plantas coletadas em sequência dentro de cada parcela, as sementes foram posteriormente secas em secador estacionário com temperatura do ar de 38°C até atingir 12% de umidade. O armazenamento foi feito em ambiente com temperatura controlada e umidade de 16° e 65%, respectivamente.

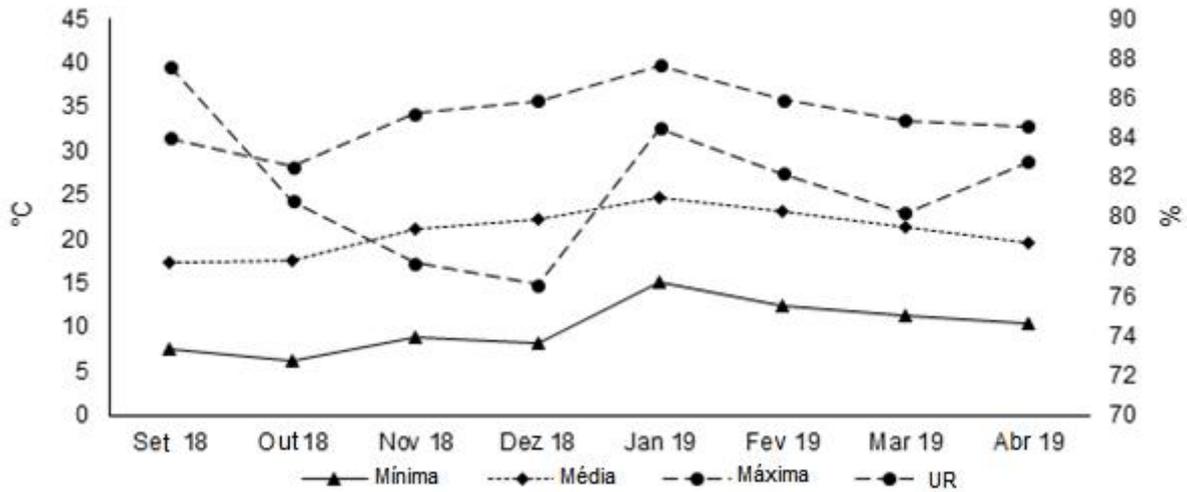
As condições climáticas durante a condução do experimento foram chuvas bem distribuídas ao longo dos meses com alta precipitação no mês de janeiro e radiação solar acima de 300 cal.cm<sup>2</sup>.dia<sup>-1</sup> (Figura 2). Temperaturas médias próximas a 20°C variando de 7 a 35°C (Figura 2). No período entre a maturação e a pré-colheita, as condições de precipitação atingiram valores abaixo de 30 mm no mês de março (Figura 1), com temperaturas variando de 10 a 30°C (Figura 2). A umidade relativa do ar nos meses de março a abril de 2019 foi de 80,2% e 82,8% respectivamente (Figura 2).

**Figura 1** - Chuva e radiação solar durante as épocas de semeadura.



Fonte: Elaborado pelos autores.

**Figura 2** - Temperaturas máximas, médias e mínimas e umidade relativa (UR) nas diferentes épocas de semeadura.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Os dados obtidos foram submetidos ao teste de normalidade e homogeneidade e submetidos à análise de variância ao nível de 5% de probabilidade, sem significância para interação, os dados foram desagregados para os efeitos individuais.

### 3. Resultados

A soja apresentou diferentes respostas quando submetida a diferentes densidades populacionais e semeada em épocas distintas (Tabela 2). Ao analisar os fatores, observou-se que a densidade de plantas foi significativa para todas as variáveis avaliadas. Para as diferentes épocas de semeadura, a matéria seca e o número de vagens e o número de nós reprodutivos que não apresentaram diferenças significativas.

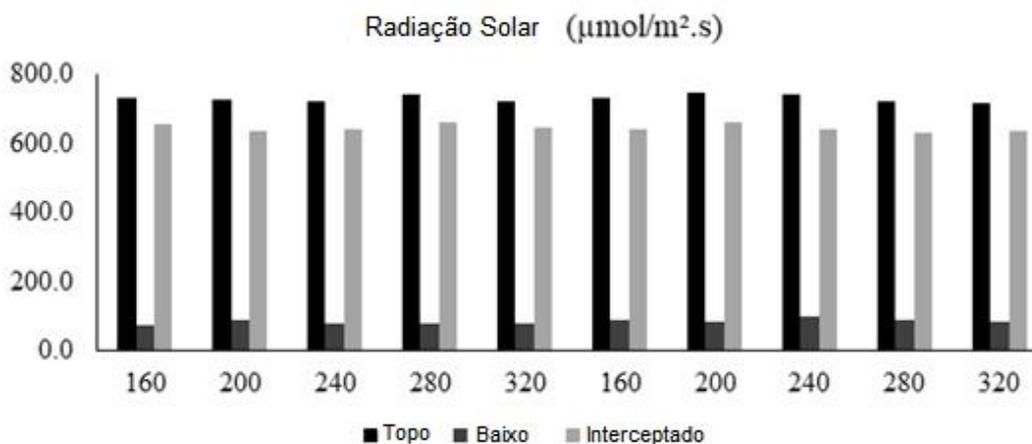
**Tabela 2** - Resumo das análises de variância dos dados de clorofila “a” (Ch A), clorofila “b” (Ch B), índice de área foliar (L), matéria seca da raiz (Wr), matéria seca do caule (Ws), matéria seca de folhas (Wl), matéria seca de vagens (Wp), número de vagens por planta (N° Vagens), altura no estágio R1 (R1 Altura), número de nós reprodutivos (NRepN) e rendimento por planta (Rendimento).

|                          | GL <sup>1</sup> | Ch A      | Ch B     | L          | Wr           |
|--------------------------|-----------------|-----------|----------|------------|--------------|
| Blocos                   | 3               | 1.09      | 2.87     | 0.36       | 0.85         |
| Densidade de plantas     | 4               | 6.84 *    | 9.72 *   | 1.31 *     | 3.87 *       |
| Tempo                    | 1               | 85.85 *   | 165.24 * | 35.91 *    | 11.84 *      |
| P X T                    | 4               | 0.94 ns   | 0.61 ns  | 0.98 ns    | 0.20 ns      |
| Resíduo                  | 27              | 1.39      | 1.42     | 0.41       | 0.29         |
| Total                    | 39              |           |          |            |              |
| <b>C. V.<sup>2</sup></b> |                 | 3.52      | 9.39     | 12.3       | 13.69        |
|                          | GL              | Ws        | Wl       | Wp         | N° Vagens    |
| Blocos                   | 3               | 4.79      | 1.98     | 25.30      | 118.40       |
| Densidade de plantas     | 4               | 42.32 *   | 84.12 *  | 237.54 *   | 2157.76 *    |
| Tempo                    | 1               | 403.61 *  | 194.82 * | 1.98 ns    | 272484.00 ns |
| P X T                    | 4               | 5.74 *    | 8.39 ns  | 20.07 ns   | 143.53 ns    |
| Resíduo                  | 27              | 3.88      | 4.29     | 22.40      | 64.93        |
| Total                    | 39              |           |          |            |              |
| <b>C. V.</b>             |                 | 13.41     | 14.06    | 19.24      | 11.34        |
|                          | GL              | R1 Altura | NRepN    | Rendimento |              |
| Blocos                   | 3               | 6.71      | 6.47     | 4.97       |              |
| Densidade de plantas     | 4               | 144.06 *  | 641.15 * | 373.85 *   |              |
| Tempo                    | 1               | 335.82 *  | 52.90 ns | 189.62 *   |              |
| P X T                    | 4               | 6.74 ns   | 33.65 ns | 10.24 ns   |              |
| Resíduo                  | 27              | 19.42     | 15.71    | 10.22      |              |
| Total                    | 39              |           |          |            |              |
| <b>C. V.</b>             |                 | 7.03      | 14.36    | 14.31      |              |

\* - Valores significativos ao nível de 5% de significância; ns - Valores não significativos a 5% de significância pelo teste F.; 1- G.L.- graus de liberdade; 2- C.V.- Coeficiente de variação. Fonte: Elaborado pelos autores.

A interação entre densidade e épocas de semeadura foi significativa apenas para a matéria seca do colmo (Tabela 2). A quantidade de radiação solar que atinge o topo das plantas é semelhante. Entretanto, pode-se observar que em plantas mais internas a quantidade de radiação que chega é diferente entre as diferentes populações de plantas (Figura 3). Na primeira época, a população de 200 mil plantas apresentou o melhor arranjo para entrada de luz ao longo da copa nas plantas de soja, porém, na segunda época, a população de 240 mil plantas foi a melhor, mas sem diferença estatística.

**Figura 3** - Radiação solar no topo das plantas de soja, radiação solar sob as folhas mais baixas e radiação solar interceptada.



Fonte: Elaborado pelos autores.

O índice de clorofila “a” e “b” não apresentou efeito significativo nas diferentes densidades de plantas. No entanto, o maior índice de clorofila foi constatado nas folhas da primeira época de semeadura em relação à segunda época de semeadura (Tabela 3). Da mesma forma, o índice de área foliar apresentou o mesmo padrão de respostas das clorofilas, diferindo estatisticamente apenas entre as épocas de semeadura.

O acúmulo de massa seca de folhas e raízes foi maior na primeira época de plantio com maior acúmulo em relação à segunda época (Tabela 3). No entanto, a matéria seca e o número de vagens não apresentaram diferenças significativas entre a densidade e as épocas de semeadura.

**Tabela 3** - Comparação das médias de clorofila “a” (Ch a), clorofila “b” (Ch b), índice de área foliar (L), matéria seca da raiz (Wr), matéria seca do caule (Ws), matéria seca da folha (Wl), matéria seca das vagens (Wp), número de vagens por planta (N° Vagens), altura no estádio R1 (R1 Altura), número de nós reprodutivos (NRepN) e rendimento por planta (Rendimento).

| Densidade de plantas | Ch a   |        | Ch b   |        | L (IFC) |       | Wr (g) |       |
|----------------------|--------|--------|--------|--------|---------|-------|--------|-------|
|                      | 1      | 2      | 1      | 2      | 1       | 2     | 1      | 2     |
| 160                  | 35.3   | 33.5   | 16.9   | 11.9   | 5.9     | 4.6   | 5.7    | 4.3   |
| 200                  | 34.3   | 30.9   | 13.8   | 9.9    | 6.1     | 3.9   | 4.9    | 3.5   |
| 240                  | 35.6   | 32.8   | 14.8   | 10.9   | 5.2     | 4.2   | 4.1    | 3.4   |
| 280                  | 35.5   | 32.2   | 14.4   | 10.8   | 6.1     | 3.9   | 3.8    | 2.7   |
| 320                  | 34.1   | 30.6   | 13.6   | 9.7    | 7.2     | 4.4   | 3.8    | 3.0   |
| $\bar{X}$            | 34.9 A | 32.0 B | 14,7 A | 10.6 B | 6.1 A   | 4.2 B | 4.5 A  | 3.4 B |

| Densidade de plantas | Ws (g)  |         | Wl (g) |        | Wp (g) |        | N° vagens (unidades) |        |
|----------------------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|----------------------|--------|
|                      | 1       | 2       | 1      | 2      | 1      | 2      | 1                    | 2      |
| 160                  | 23.1 aA | 13.0 aB | 23.3   | 16.5   | 32.8   | 33.5   | 99.6                 | 93.2   |
| 200                  | 18.0 bA | 12.5 aB | 18.3   | 13.2   | 26.5   | 26.5   | 82.0                 | 73.1   |
| 240                  | 16.4 bA | 12.5 aB | 14.1   | 12.0   | 20.2   | 25.1   | 61.8                 | 70.5   |
| 280                  | 14.2 bA | 9.3 aB  | 13.1   | 10.8   | 19.4   | 19.9   | 59.6                 | 54.3   |
| 320                  | 17.5 bA | 10.1 aB | 15.6   | 10.0   | 22.8   | 18.8   | 65.1                 | 50.9   |
| $\bar{X}$            | 17.8 A  | 11.5 B  | 16.9 A | 12.5 B | 24.3 A | 24.7 A | 73.6 A               | 59.3 A |

| Densidade de plantas | R1 Altura (cm) |        | NRepN (unidades) |        | Rendimento (g. por planta) |        |
|----------------------|----------------|--------|------------------|--------|----------------------------|--------|
|                      | 1              | 2      | 1                | 2      | 1                          | 2      |
| 160                  | 60.8           | 53.9   | 42.7             | 40.2   | 36.6                       | 29.9   |
| 200                  | 65.6           | 58.7   | 32.2             | 30.2   | 27.0                       | 20.6   |
| 240                  | 65.6           | 58.2   | 23.0             | 26.0   | 21.8                       | 19.9   |
| 280                  | 64.5           | 60.3   | 21.0             | 19.5   | 18.5                       | 16.3   |
| 320                  | 71.0           | 67.5   | 24.7             | 16.2   | 18.5                       | 13.8   |
| $\bar{X}$            | 65.5 A         | 59.7 B | 28.7 A           | 26.4 A | 24.5 A                     | 20.1 B |

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha não diferem estatisticamente ao nível de 5% pelo teste de Tukey. Fonte: Elaborado pelos autores.

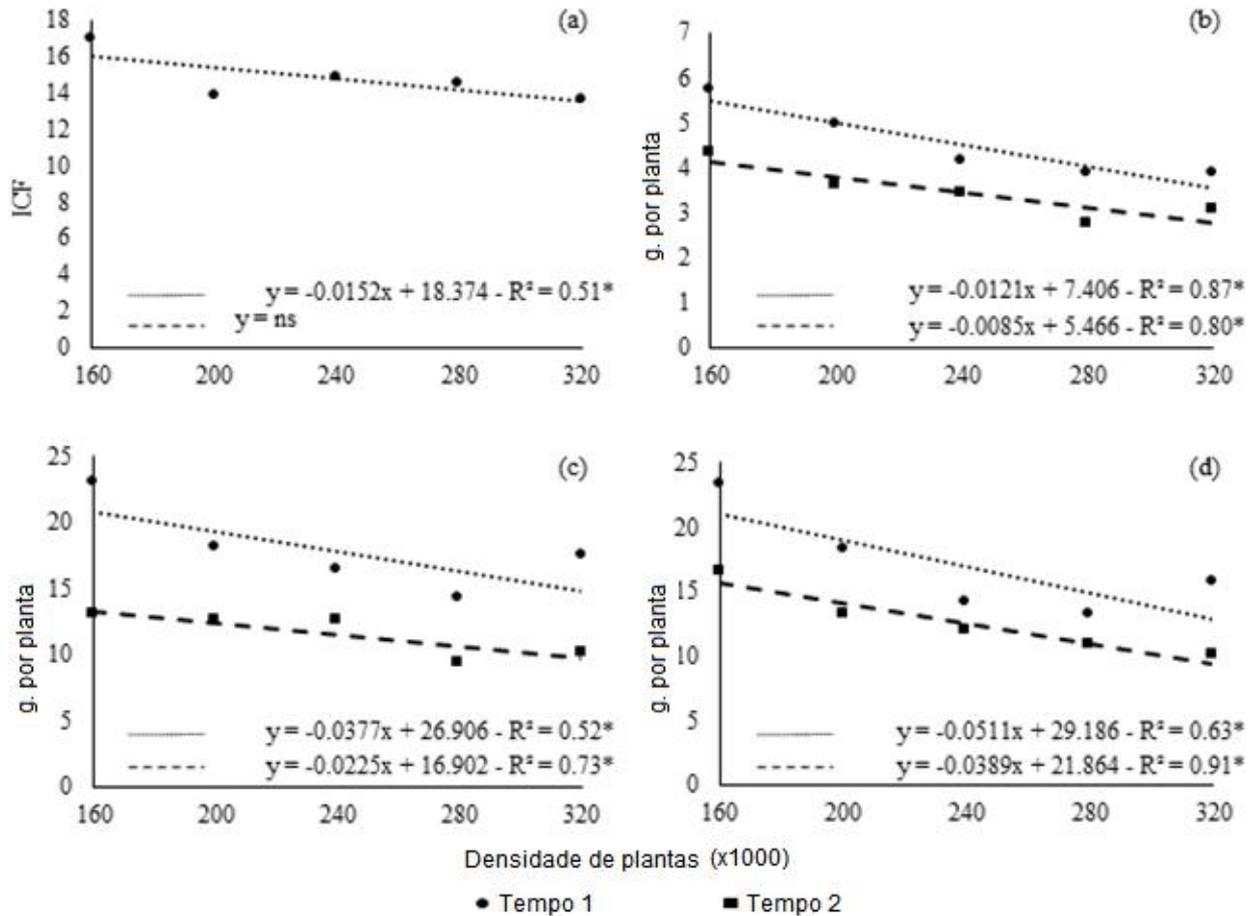
A matéria seca do colmo apresentou alto ganho em função da época de semeadura e das densidades. Vale ressaltar que a menor densidade na primeira época potencializou o acúmulo de massa seca das plantas, enquanto que na segunda época não houve diferença significativa observada entre as densidades (Tabela 3). A primeira época de semeadura proporcionou maior acúmulo de massa seca em relação à segunda. Fato que pode estar relacionado com as diferentes condições ambientais entre elas (Figura 1 e 2).

A altura das plantas no início do período reprodutivo foi maior que nas plantas semeadas na primeira época em relação à segunda. Embora as densidades e épocas de semeadura não tenham alterado o número de nós reprodutivos entre plantas (Tabela 3). A produção de sementes por planta foi maior nas plantas cultivadas na primeira época de semeadura em relação à segunda (Tabela 3).

O índice de clorofila *b* (Figura 4a), massa seca da raiz (Figura 4b), caule (Figura 4c) e folhas (Figura 4d) foram ajustados através do modelo linear com coeficiente de determinação ( $R^2 \geq 0,51$ ). Observa-se que o aumento da população

reduziu os valores dessas variáveis. Ressalta-se que para a primeira época de semeadura houve superioridade em relação à segunda, apesar do índice de clorofila b não ter apresentado diferenças significativas entre as populações na segunda época de semeadura.

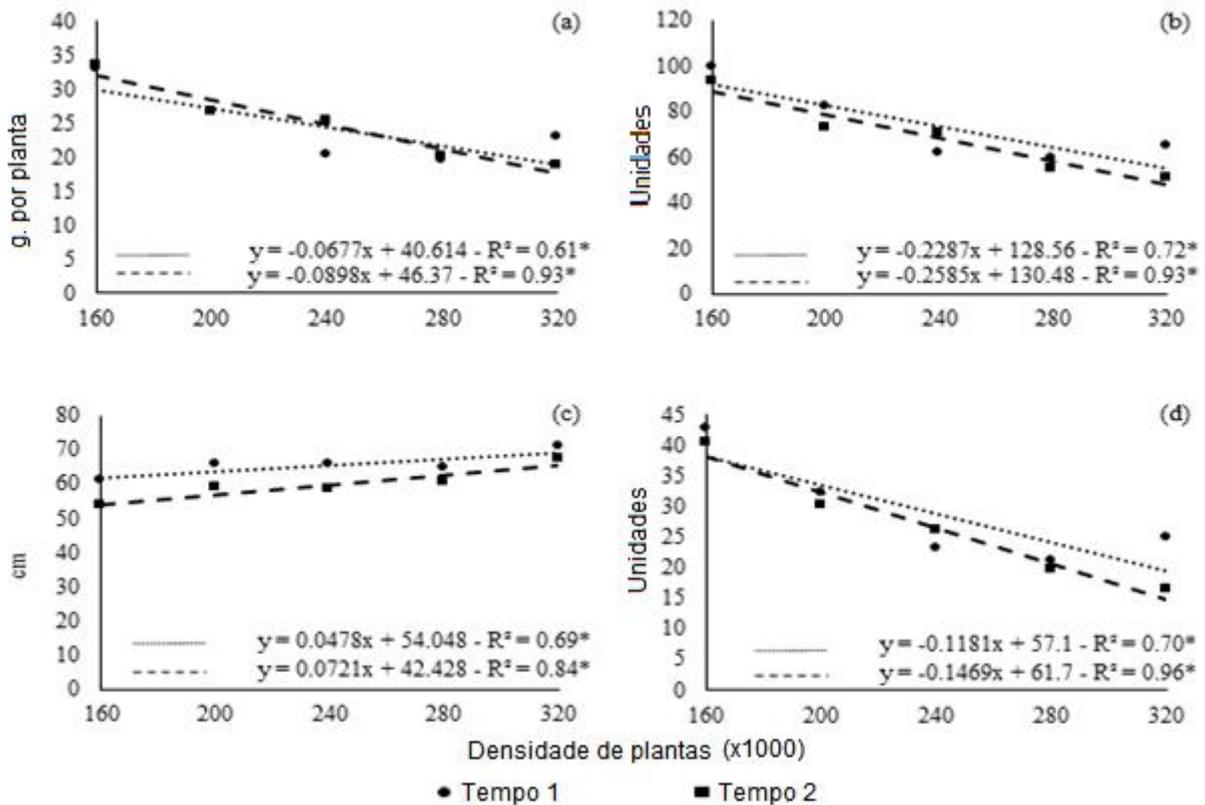
**Figura 4** - Índice de clorofila b (a), massa seca da raiz (b), massa seca do caule (c) e massa seca das folhas (d) obtidos por duas épocas de semeadura e cinco densidades diferentes de plantas de soja.



Fonte: Elaborado pelos autores.

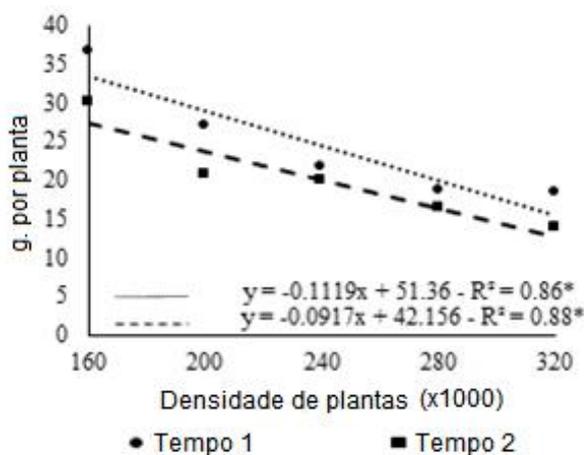
A massa seca das vagens (Figura 5a) e o número de vagens (Figura 5b) diminuíram com o aumento da população de plantas por hectare. Já a altura em R1 (Figura 5c) foi maior na população de 320 mil plantas por hectare em comparação com a densidade de 160 mil plantas por hectare. O número de nós reprodutivos (Figura 5d), por outro lado, diminuiu com o aumento da população de plantas em ambas as épocas de semeadura.

**Figura 5** - Massa seca de vagens (a), número de vagens (b), altura no estágio R1 (c) e número de nós reprodutivos obtidos a partir de duas épocas de semeadura e cinco densidades diferentes.



Fonte: Elaborado pelos autores.

**Figura 6** - Rendimento de Sementes (g por planta) obtido a partir de duas épocas de semeadura e cinco densidades diferentes de plantas de soja.



Fonte: Elaborado pelos autores.

**Tabela 4** - Correlações lineares de clorofila “a” (Ch a), clorofila “b” (Ch b), índice de área foliar (L), matéria seca da raiz (Wr), matéria seca do caule (Ws), matéria seca da folha (Wl), matéria seca das vagens (Wp), número de vagens por planta (N° Vagens), altura no estágio R1 (R1 Altura), número de nós reprodutivos (NRepN) e produção por planta (Rendimento).

|                            | Ch b  | L     | Wr    | Ws    | Wl    | Wp                 | N° vagens          | R1 Altura           | NRepN              | Rendimento          |
|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|
| <b>Ch a</b> <sup>(1)</sup> | 0.83* | 0.56* | 0.54* | 0.58* | 0.49* | 0.07 <sup>ns</sup> | 0.24 <sup>ns</sup> | 0.11 <sup>ns</sup>  | 0.30 <sup>ns</sup> | 0.49*               |
| <b>Ch b</b>                |       | 0.67* | 0.67* | 0.78* | 0.68* | 0.23 <sup>ns</sup> | 0.42*              | 0.19 <sup>ns</sup>  | 0.41*              | 0.56*               |
| <b>L</b>                   |       |       | 0.50* | 0.70* | 0.57* | 0.15 <sup>ns</sup> | 0.28 <sup>ns</sup> | 0.57*               | 0.14 <sup>ns</sup> | 0.19 <sup>ns</sup>  |
| <b>Wr</b>                  |       |       |       | 0.78* | 0.82* | 0.64*              | 0.77*              | 0.03 <sup>ns</sup>  | 0.62*              | 0.71*               |
| <b>Ws</b>                  |       |       |       |       | 0.87* | 0.47*              | 0.62*              | 0.22 <sup>ns</sup>  | 0.54*              | 0.63*               |
| <b>Wl</b>                  |       |       |       |       |       | 0.66*              | 0.81*              | 0.04 <sup>ns</sup>  | 0.74*              | 0.80*               |
| <b>Wp</b>                  |       |       |       |       |       |                    | 0.95*              | -0.32*              | 0.76*              | 0.69*               |
| <b>N° Vagens</b>           |       |       |       |       |       |                    |                    | -0.29 <sup>ns</sup> | 0.83*              | 0.79*               |
| <b>R1 Altura</b>           |       |       |       |       |       |                    |                    |                     | -0.42*             | -0.26 <sup>ns</sup> |
| <b>NRepN</b>               |       |       |       |       |       |                    |                    |                     |                    | 0.89*               |

\*- Correlações significativas ao nível de 5%; ns- correlações não significativas ao nível de 5%. Fonte: Elaborado pelos autores.

A produção de sementes (Figura 5) foi obtida com alto coeficiente de determinação ( $R^2 \geq 0,86$ ), diminuindo com o aumento das populações de plantas em ambas as épocas de semeadura. A primeira safra apresentou os maiores valores de produtividade em comparação com a segunda safra.

A análise mostrou correlação positiva ( $p < 0,05$ ) para as variáveis de crescimento analisadas, exceto para massa seca e número de vagens por planta (Tabela 4). Os resultados obtidos para clorofila “a”, clorofila “b”, índice de área foliar, matéria seca de raiz, matéria seca de caule e matéria seca de folha apresentaram coeficiente positivo superior a 0,49 (Tabela 4), mostrando forte interação entre variáveis de crescimento.

Verificou-se que o coeficiente de correlação, correspondente ao índice de área foliar e ao rendimento por planta não foi significativo (Tabela 4). Para o número de nós reprodutivos e rendimento por planta, o coeficiente chegou a 0,89, sendo uma importante medida do crescimento do caule que contribuiu para o rendimento das plantas de soja.

#### 4. Discussão

A soja apresenta plasticidade relativa de acordo com a cultivar adotada e comportamento diferenciado frente ao ambiente em que é submetida e tipo de manejo adotado. As diferentes densidades podem responder de formas distintas, dependendo da época de semeadura adotada. Tal fato se deve ao ambiente de produção influenciar na fertilização dos ovos das plantas e na entrada de luz na base, mantendo as folhas fotossinteticamente ativas por maior período de tempo. Portanto, é essencial entender a influência da variabilidade genética sob o desenvolvimento das plantas. Considerando o ambiente de produção como fonte de variação, a fim de maximizar o crescimento e a eficiência no uso dos recursos (Bailey-Serres *et al.*, 2019).

O adensamento de semeadura quando realizado com sabedoria, favorece a máxima expressão do potencial produtivo da cultura. Que através da adequação da densidade de plantas, é capaz de otimizar a captação de radiação solar e favorecer o processo de fotossíntese e, conseqüentemente, ajudar na obtenção de maiores rendimentos da cultura (Sobko *et al.*, 2019). A eficiência da planta em interceptar a radiação fotossinteticamente ativa contribui para aumentar a velocidade de

desenvolvimento da cultura, bem como o fechamento das linhas e, assim, contribuir para o aumento da biomassa total das plantas, além de auxiliar no controle de ervas daninhas (Uate, 2016).

Ao analisar o índice de clorofila e área foliar percebe-se que as épocas de semeadura foram fundamentais para essas variáveis de crescimento, devido ao aumento na formação de novas folhas. Como consequência, o crescimento foliar foi favorecido, melhorando aproveitamento da radiação solar que incide sobre a planta, potencializando o processo de fotossíntese realizado pela cultura. Além de revigorar a difusão e assimilação do dióxido de carbono, contribui para a eficiência da conversão de energia solar pelas plantas, otimizando a eficiência fotossintética, o uso de água e nutrientes (Bailey-Serres *et al.*, 2019).

Diferenças na assimilação resultaram em redução no acúmulo de massa seca dos diferentes órgãos vegetais, combinado com variações na radiação no interior da copa das plantas (Figura 3). Assim, o equilíbrio na distribuição de fotoassimilados e na absorção de nutrientes é essencial para otimizar os rendimentos (Li *et al.*, 2018).

As variações de massa seca obtidas neste trabalho (Figura 4), podem estar relacionadas ao efeito do número de plantas em cada população. Já nas populações maiores, ocorreram reduções no desenvolvimento das brotações laterais, o que reflete na massa seca e no número de vagens por planta, bem como, na altura das plantas com o aumento das populações. Desta forma, com o aumento das populações, houve redução da matéria seca das raízes, o que pode ter afetado a nodulação das plantas (Foo *et al.*, 2013; Choi *et al.*, 2018).

A redução do índice de clorofila b na primeira época de semeadura nas maiores populações, pode estar relacionada às condições ambientais a que a planta foi submetida, através do aumento da transpiração, bem como ao fechamento dos estômatos, devido à baixa absorção de água (Mahmood *et al.*, 2019). O que pode prejudicar a área foliar, ocasionando menor aporte de assimilados para o desenvolvimento das sementes (Marcos Filho, 2015). No entanto, o aumento do índice de área foliar pode ocasionar o auto sombreamento das folhas superiores em relação às folhas inferiores, afetando o crescimento das plantas de soja (Pedó *et al.*, 2015).

As variações de rendimento com o aumento da densidade de plantas estão relacionadas com a redução do número de vagens por planta e as demais variáveis de crescimento, embora tenha ocorrido aumento do IAF (Tabela 3) nas maiores populações, não se pode atribuir com o aumento de rendimento das plantas. Dessa forma, a distribuição homogênea das folhas na copa das plantas permitiu maior captação de luz, impactando direta e favoravelmente no processo de fotossíntese (Long *et al.*, 2006; Ferreira *et al.*, 2018). Com isso, através da densidade de semeadura é possível obter a altura de planta mais adequada, e assim, possibilitar a melhoria na distribuição de luz dentro do dossel (Sobko *et al.*, 2019). Além de melhorar a tolerância das variedades de soja ao estresse competitivo entre plantas (Devi *et al.*, 2014; Valliyodan *et al.*, 2017; Sinclair, 2018; Ye *et al.*, 2018).

Entre as variáveis de crescimento e a produtividade da planta, foram observadas correlações significativas, exceto para o IAF, esse resultado indica que o aumento do IAF não representa aumento na produtividade da planta.

#### 4. Conclusão

A época de semeadura e as densidades de cultivo avaliadas influenciaram na expressão dos componentes de produtividade. A soja cultivada na segunda quinzena de novembro se mostrou mais produtiva. O cultivo em menores densidades favoreceu maior número de nós reprodutivos, número de vagens e produtividade por planta expressando a plasticidade fenotípica da cultura.

## Referências

- Ávila, M. R., Braccini, A. D. L., Motta, I. D. S., Scapim, C. A., & Braccini, M. D. C. L. (2003). Sowing seasons and quality of soybean seeds. *Scientia Agricola*, 60, 245-252.
- Bailey-Serres, J., Parker, J. E., Ainsworth, E. A., Oldroyd, G. E., & Schroeder, J. I. (2019). Genetic strategies for improving crop yields. *Nature*, 575(7781), 109-118.
- Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento/Secretaria de Política Agrícola - Portaria nº 154, de 25 de julho de 2018. Aprovação do Zoneamento Agrícola de Risco Climático para a cultura de soja no Estado do Rio Grande do Sul, ano-safra 2018/2019. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 26 Julho 2018. Ed. 143, Seção 1, Pag.5, 2018. <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/riscos-seguro/programa-nacional-de-zoneamento-agricola-de-risco-climatico/portarias/safra-2018-2019/rio-grande-do-sul-rs/pdf/port-no-154-soja-rs.pdf>
- Choi, J., Summers, W., & Paszkowski, U. (2018). Mechanisms underlying establishment of arbuscular mycorrhizal symbioses. *Annual Review of Phytopathology*, 56, 135-160.
- de Oliveira Procópio, S., Junior, A. A. B., Debiassi, H., dos Santos, J. C. F., & Panison, F. (2013). Plantio cruzado na cultura da soja utilizando uma cultivar de hábito de crescimento indeterminado. *Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 56(4), 319-325.
- de Química, C. C., & do Solo, F. (2016). Manual de calagem e adubação para os Estados de Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. *Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*. 376p, [https://www.sbcs-nrs.org.br/docs/Manual\\_de\\_Calagem\\_e\\_Adubacao\\_para\\_os\\_Estados\\_do\\_RS\\_e\\_de\\_SC-2016.pdf](https://www.sbcs-nrs.org.br/docs/Manual_de_Calagem_e_Adubacao_para_os_Estados_do_RS_e_de_SC-2016.pdf).
- Devi, J. M., Sinclair, T. R., Chen, P., & Carter, T. E. (2014). Evaluation of elite southern maturity soybean breeding lines for drought-tolerant traits. *Agronomy Journal*, 106(6), 1947-1954.
- Falker Automação Agrícola. (2008). Manual do medidor eletrônico de teor clorofila (ClorofiloLOG/CFL 1030).
- Fehr, W. R., Caviness, C. E. Stages of soybean development. Ames: Iowa State University of Science and Technology. 11 p.
- Fehr, W. R., & Caviness, C. E. (1977). Stages of soybean development. Spec. Rep. 80. Iowa Agric. Home Econ. Exp. Stn., Iowa State Univ., Ames.
- Ferreira, A. S., Zucareli, C., Werner, F., & Balbinot Junior, A. A. (2018). Plant spatial arrangement affects grain production from branches and stem of soybean cultivars. *Bragantia*, 77, 567-576.
- Foo, E., Yoneyama, K., Hugill, C. J., Quittenden, L. J., & Reid, J. B. (2013). Strigolactones and the regulation of pea symbioses in response to nitrate and phosphate deficiency. *Molecular plant*, 6(1), 76-87.
- Kumagai, E., & Takahashi, T. (2020). Soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) Yield reduction due to late sowing as a function of radiation interception and use in a cool region of Northern Japan. *Agronomy*, 10(1), 66.
- Lee, C. D., Egli, D. B., & TeKrony, D. M. (2008). Soybean response to plant population at early and late planting dates in the Mid-South. *Agronomy Journal*, 100(4), 971-976.
- Li, S., Tian, Y., Wu, K., Ye, Y., Yu, J., Zhang, J., ... & Fu, X. (2018). Modulating plant growth–metabolism coordination for sustainable agriculture. *Nature*, 560(7720), 595-600.
- Long, S. P., Zhu, X. G., Naidu, S. L., & Ort, D. R. (2006). Can improvement in photosynthesis increase crop yields? *Plant, cell & environment*, 29(3), 315-330. Marcos Filho, J. Fisiologia de sementes de plantas cultivadas. Londrina: ABRATES, 659 p, 2015.
- Mahmood, T., Khalid, S., Abdullah, M., Ahmed, Z., Shah, M. K. N., Ghafoor, A., & Du, X. (2019). Insights into drought stress signaling in plants and the molecular genetic basis of cotton drought tolerance. *Cells*, 9(1), 105.
- Marcos Filho, J. (2015). Seed vigor testing: an overview of the past, present and future perspective. *Scientia agricola*, 72, 363-374.
- Modolo, A. J., Schidlowski, L. L., Storck, L., Benin, G., Vargas, T. O., & Trogello, E. (2016). Rendimento de soja em função do arranjo de plantas. *Revista de Agricultura*, 91(3), 216-229.
- Pedó, T., Koch, F., Martinazzo, E. G., Villela, F. A., & Aumonde, T. Z. (2015). Physiological attributes, growth and expression of vigor in soybean seeds under soil waterlogging. *African Journal of Agricultural Research*, 10(39), 3791-3797.
- Petter, F. A., Silva, J. A. D., Zuffo, A. M., Andrade, F. R., Pacheco, L. P., & Almeida, F. A. D. (2016). Elevada densidade de semeadura aumenta a produtividade da soja? Respostas da radiação fotossinteticamente ativa. *Bragantia*, 75, 173-183.
- Sinclair, T. R. (2018). Effective water use required for improving crop growth rather than transpiration efficiency. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1442.
- Sobko, O., Hartung, J., Zikeli, S., Claupein, W., & Gruber, S. (2019). Effect of sowing density on grain yield, protein and oil content and plant morphology of soybean (*Glycine max* L. Merrill). *Plant, Soil and Environment*, 65(12), 594-601.
- SOLOS, Embrapa. Sistema brasileiro de classificação de solos. Centro Nacional de Pesquisa de Solos: 3, 2013.
- Song, H., Taylor, D. C., & Zhang, M. (2023). Bioengineering of Soybean Oil and Its Impact on Agronomic Traits. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(3), 2256.
- Uate, J. V. (2016). *Progresso genético e adaptabilidade e estabilidade de cultivares de milho avaliadas em ensaios de valor de cultivo e uso* (Doctoral dissertation, Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas). Universidade Federal de Lavras, 77p.
- Valliyodan, B., Ye, H., Song, L., Murphy, M., Shannon, J. G., & Nguyen, H. T. (2017). Genetic diversity and genomic strategies for improving drought and waterlogging tolerance in soybeans. *Journal of experimental botany*, 68(8), 1835-1849.
- Ye, H., Roorkiwal, M., Valliyodan, B., Zhou, L., Chen, P., Varshney, R. K., & Nguyen, H. T. (2018). Genetic diversity of root system architecture in response to drought stress in grain legumes. *Journal of Experimental Botany*, 69(13), 3267-3277.