

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**TCHARLES DOS SANTOS HOFMANN**

**DESENVOLVIMENTO VEGETATIVO E RENDIMENTO DE GRÃOS DE SOJA  
CULTIVADA SOBRE MIX DE PLANTAS DE COBERTURA E AVEIA PRETA**

**PATO BRANCO**

**2025**

**TCHARLES DOS SANTOS HOFMANN**

**DESENVOLVIMENTO VEGETATIVO E RENDIMENTO DE GRÃOS DE SOJA  
CULTIVADA SOBRE MIX DE PLANTAS DE COBERTURA E AVEIA PRETA**

**Vegetative development and grain yield of soybean grown on cover crop  
mixes and black oat**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
como requisito para obtenção do título  
de Bacharel em Agronomia do Curso de  
Agronomia da Universidade Tecnológica  
Federal do Paraná.

Orientador(a): Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Betânia Brum de  
Bortolli

Coorientador(a): Prof. Dr. Adão Robson Elias

**PATO BRANCO**

**2025**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**TCHARLES DOS SANTOS HOFMANN**

**DESENVOLVIMENTO VEGETATIVO E RENDIMENTO DE GRÃOS DE SOJA  
CULTIVADA SOBRE MIX DE PLANTAS DE COBERTURA E AVEIA PRETA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
como requisito para obtenção do título  
de Bacharel em Agronomia do Curso de  
Agronomia da Universidade Tecnológica  
Federal do Paraná.

Data de aprovação: 13 / Novembro / 2025

---

Betânia Brum de Bortolli  
Doutorado em Agronomia  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Adão Robson Elias  
Doutorado em Agronomia  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Marcos Antonio de Bortolli  
Doutorado em Agronomia  
Profissional liberal

**PATO BRANCO  
2025**

Dedico este trabalho à minha família e aos amigos que a universidade me proporcionou.

## AGRADECIMENTOS

Reconheço que estas palavras não conseguirão abarcar todas as pessoas que fizeram parte desta fase tão significativa da minha vida. Por isso, peço desde já desculpas àquelas que não estão mencionadas aqui, assegurando, entretanto, que permanecem em meu pensamento e na minha profunda gratidão.

Agradeço a Deus, primeiramente, por me conceder saúde, sabedoria e força para superar os desafios e concluir esta importante etapa da minha vida. Sem a Sua presença e orientação, nada disso seria possível.

Agradeço profundamente à minha família, pelo amor incondicional, paciência e incentivo em todos os momentos. Vocês foram o alicerce que me sustentou e a motivação que me impulsionou a seguir em frente, mesmo diante das dificuldades.

À minha namorada, Andressa Helmann, meu mais sincero agradecimento por todo carinho, paciência e compreensão. Sua presença constante foi um porto seguro nos momentos de dificuldade, e seu incentivo, uma força silenciosa que me manteve firme e determinado ao longo de toda esta jornada. Cada conquista alcançada carrega consigo a marca do seu apoio incondicional, e nada do que realizei teria o mesmo significado sem você ao meu lado. Obrigado por acreditar em mim, por compartilhar meus sonhos e por ser, a cada dia, fonte de inspiração, alegria e amor.

Aos meus amigos e colegas de curso, pelo companheirismo e pelas experiências compartilhadas ao longo desta caminhada. Em especial, ao grupo de amigos GMRTV, pela amizade sincera, pelas risadas, pela parceria nos momentos difíceis e por tornarem essa trajetória mais leve e memorável. De modo particular, agradeço a Henry José de Souza, pela amizade, pelo apoio, pelos treinos e pelos sonhos compartilhados ao longo desta jornada.

À minha orientadora, Prof.<sup>a</sup> Dra. Betania Brum de Bortolli, pela orientação atenciosa, paciência e sabedoria com que conduziu cada etapa deste trabalho. Agradeço também ao meu coorientador, Prof. Dr. Adão Robson Elias, pelas contribuições técnicas e pelo suporte constante durante o desenvolvimento da pesquisa.

Ao Grupo de Estudos e Pesquisas em Experimentação Agrícola (GEPEA), pela oportunidade de aprendizado, pelas discussões produtivas e pelo apoio científico que contribuíram significativamente para o aprimoramento deste trabalho.

Ao produtor e amigo Marcos de Bortolli, por ceder gentilmente a propriedade para a realização do experimento e por compartilhar seus ensinamentos e experiências práticas, fundamentais para a execução desta pesquisa.

Registro meu agradecimento ao Laboratório de Solos (LABSOLOS) pelo apoio técnico, disponibilidade de equipamentos e orientação durante a condução das análises.

Agradeço à Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) por proporcionar a infraestrutura, o ambiente acadêmico e as oportunidades de aprendizado que foram fundamentais para a realização deste trabalho.

Por fim, a todos que, de alguma forma, contribuíram direta ou indiretamente para a concretização deste trabalho, deixo registrado o meu sincero muito obrigado.

'Um bom plano hoje é melhor do que um plano  
perfeito amanhã.'  
General George S. Patton Jr.

## RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo Verificar o efeito de plantas de cobertura de inverno sobre o desenvolvimento vegetativo e o desempenho produtivo da soja. O experimento foi conduzido entre abril de 2024 e janeiro de 2025, em uma propriedade rural localizada no município de Vitorino–PR, em um Latossolo Vermelho Distroférico, sob clima Cfb (subtropical úmido). O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso, com seis repetições e três tratamentos: aveia preta IPR 61, Mix Rx 330<sup>®</sup> (composto por aveia preta, centeio e ervilhacas) e Mix Rx 610<sup>®</sup> (composto por aveia preta, ervilhacas e nabo forrageiro). As plantas de cobertura foram semeadas em maio e mantidas por 110 dias, sendo posteriormente manejadas para a semeadura da soja cultivar BRASMAX Zeus<sup>®</sup>. Foram avaliadas variáveis de desenvolvimento e rendimento da soja, incluindo estande inicial e final, índice de área foliar (IAF) nos estádios R2 e R3, componentes de rendimento e produtividade de grãos. Adicionalmente, realizaram-se cinco voos com drone equipado com sensor multiespectral, aos 21, 45, 65, 85 e 115 dias após a semeadura, para o acompanhamento do vigor vegetativo. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e as médias comparadas pelos testes de Tukey e Dunnett a 5% de probabilidade. As imagens de sensoriamento remoto revelaram diferenças de coloração e vigor entre tratamentos, e o NDVI refletiu essas variações, demonstrando sensibilidade para detectar diferenças fisiológicas não evidenciadas pelos parâmetros agrônômicos tradicionais. As plantas de cobertura de inverno não influenciaram significativamente o estande final, o índice de área foliar e o desenvolvimento vegetativo da soja. Os mixes de cobertura proporcionaram maior rendimento de grãos da soja em comparação à soja cultivada sobre Aveia Preta IPR 61.

**Palavras-chave:** soja; plantas de cobertura; sensoriamento remoto; sustentabilidade agrícola; produtividade de grãos.

## ABSTRACT

The present study aimed to evaluate the effect of winter cover crops on the vegetative development and productive performance of soybean. The experiment was conducted between April 2024 and January 2025 on a rural property located in the municipality of Vitorino, Paraná State, Brazil, on a Rhodic Hapludox (Latossolo Vermelho Distroférrico), under a Cfb climate (humid subtropical). The experimental design adopted was a randomized block design with six replications and three treatments: black oat IPR 61, Mix Rx 330<sup>®</sup> (composed of black oat, rye, and vetches), and Mix Rx 610<sup>®</sup> (composed of black oat, vetches, and forage radish). The cover crops were sown in May and maintained for 110 days, after which they were managed for the sowing of the soybean cultivar BRASMAX Zeus<sup>®</sup>. Variables related to soybean development and yield were evaluated, including initial and final plant stand, leaf area index (LAI) at stages R2 and R3, yield components, and grain productivity. Additionally, five drone flights equipped with a multispectral sensor were conducted at 21, 45, 65, 85, and 115 days after sowing to monitor vegetative vigor. The data were subjected to analysis of variance (ANOVA), and means were compared using Tukey's and Dunnett's tests at a 5% probability level. Remote sensing images revealed differences in coloration and vigor among treatments, and the NDVI reflected these variations, demonstrating sensitivity in detecting physiological differences not evidenced by traditional agronomic parameters. The winter cover crops did not significantly influence final plant stand, leaf area index, or soybean vegetative development. The cover crop mixes provided higher soybean grain yield compared with soybean grown over Black Oat IPR 61.

**Keywords:** *glycine max* L.; cover crops; remote sensing; sustainable agriculture; grain yield.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1 – Escala fenológica da soja. ....</b>	<b>14</b>
<b>Figura 2 – Benefícios das plantas de cobertura na ciclagem de nutrientes, estruturação do solo e sequestro de carbono em sistemas agrícolas sustentáveis. ....</b>	<b>17</b>
<b>Figura 3 – Demonstração da parte aérea e das raízes de plantas e os benefícios no sistema. ....</b>	<b>20</b>
<b>Figura 4 – Mapa da localização do experimento no município de Vitorino-PR, 2024/2025. ....</b>	<b>22</b>
<b>Figura 5 – Local do experimento, no município de Vitorino-PR, 2024/2025. ....</b>	<b>23</b>
<b>Figura 6 – Croqui do experimento. Vitorino, 2024/2025. ....</b>	<b>23</b>
<b>Figura 7 – Climograma do local durante o período de condução dos experimentos, com Destaque para a Estiagem no Início do Ciclo. Vitorino, 2024/2025 ...</b>	<b>24</b>
<b>Figura 8 – Análise do vigor vegetativo da soja por meio de NDVI em diferentes períodos do ciclo produtivo, safra 2024/25 .....</b>	<b>28</b>
<b>Figura 9 – Análise do vigor vegetativo da soja por meio de NDVI em diferentes períodos do ciclo produtivo, safra 2024/25 .....</b>	<b>29</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1 – Resumo da análise de variância para as variáveis Matéria seca ao final do ciclo das culturas de cobertura (MS, kg ha<sup>-1</sup>), Estande Inicial de plantas de soja (EI, plantas m<sup>-1</sup>), População Inicial de plantas (POPIN, plantas ha<sup>-1</sup>), IAF-R2 de soja (Índice de Área Foliar no estágio R2) e IAF-R3 de soja (Índice de Área Foliar no estágio R3), em experimento conduzido no delineamento em blocos ao acaso com três tratamentos (culturas de cobertura de inverno: Aveia preta IPR 61, Mix Rx 330 e Mix Rx 610) e seis repetições. Vitorino, 2024/2025. ....</b>	<b>30</b>
<b>Tabela 2 – Médias das variáveis Matéria seca ao final do ciclo das culturas de cobertura (MS, em kg ha<sup>-1</sup>), Estande Inicial de plantas de soja (EI, plantas m<sup>-1</sup>), População Inicial de plantas (POPIN, em plantas ha<sup>-1</sup>), IAF-R2 de soja (Índice de Área Foliar no estágio R2) e IAF-R3 de soja (Índice de Área Foliar no estágio R3), em experimento conduzido no delineamento em blocos ao acaso com três tratamentos (culturas de cobertura de inverno: Aveia preta IPR 61, Mix Rx 330 e Mix Rx 610) e seis repetições. Vitorino, 2024/2025. ....</b>	<b>30</b>
<b>Tabela 3 – Resumo da análise de variância para as variáveis Estande Final de plantas de soja (EF, plantas m<sup>-1</sup>), Número Médio de Vagens por metro (NMVM), Número Médio de Vagens por planta (NVP) e Rendimento de grãos (REND, kg ha<sup>-1</sup>) em experimento conduzido no delineamento em blocos ao acaso com três tratamentos (culturas de cobertura de inverno: Aveia preta IPR 61, Mix Rx 330, Mix Rx 610) e seis repetições. Vitorino, 2024/2025. ....</b>	<b>32</b>
<b>Tabela 4 – Médias das variáveis Estande Final de plantas de soja (EF, plantas m<sup>-1</sup>), Número Médio de Vagens por metro (NMVM), Número Médio de Vagens por planta (NVP) e Rendimento de grãos (REND, kg ha<sup>-1</sup>) em experimento conduzido no delineamento em blocos ao acaso com três tratamentos (culturas de cobertura de inverno: Aveia preta IPR 61, Mix Rx 330 e Mix Rx 610) e seis repetições. Vitorino, 2024/2025. ....</b>	<b>33</b>
<b>Tabela 5 – Teste de Dunnett para comparação de médias da cultura de cobertura padrão escolhida pelo produtor (Aveia preta IPR 61) versus os Mix Rx 330 e Mix Rx 610 para as variáveis Matéria seca ao final do ciclo das culturas de cobertura (MS, em kg ha<sup>-1</sup>), Estande Inicial de plantas de soja (EI, plantas m<sup>-1</sup>), População Inicial de plantas (POPIN, em plantas ha<sup>-1</sup>), IAF-R2 de soja (Índice de Área Foliar no estágio R2) e IAF-R3 de soja (Índice de Área Foliar no estágio R3), em experimento conduzido no delineamento em blocos ao acaso com três tratamentos (culturas de cobertura de inverno: Aveia preta IPR 61, Mix Rx 330 e Mix Rx 610) e seis repetições. Vitorino, 2024/2025. ....</b>	<b>34</b>
<b>Tabela 6 – Teste de Dunnett para comparação de médias da cultura de cobertura padrão escolhida pelo produtor (Aveia preta IPR 61) versus os Mix Rx 330 e Mix Rx 610 para as variáveis Estande Final de plantas de soja (EF, plantas m<sup>-1</sup>), Número Médio de Vagens por metro (NMVM), Número Médio de Vagens por planta (NVP) e Rendimento de grãos (RG, kg ha<sup>-1</sup>) em experimento conduzido no delineamento em blocos ao acaso com três tratamentos (culturas de cobertura de inverno: Aveia preta IPR 61, Mix Rx 330 e Mix Rx 610) e seis repetições. Vitorino, 2024/2025. ....</b>	<b>34</b>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivos .....</b>	<b>13</b>
1.1.1	Objetivo Geral .....	13
1.1.2	Objetivos Específicos .....	13
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>14</b>
<b>2.1</b>	<b>Importância socioeconômica .....</b>	<b>15</b>
<b>2.2</b>	<b>Fixação biológica de nitrogênio na cultura da soja.....</b>	<b>15</b>
<b>2.3</b>	<b>Plantas de cobertura .....</b>	<b>16</b>
<b>2.4</b>	<b>Exigências nutricionais da cultura da soja e suprimento via plantas de cobertura .....</b>	<b>18</b>
<b>2.5</b>	<b>Plantas de cobertura de inverno e o rendimento de grãos da soja .....</b>	<b>19</b>
<b>2.6</b>	<b>Índices de vegetação .....</b>	<b>20</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>22</b>
<b>3.1</b>	<b>Descrição do local .....</b>	<b>22</b>
<b>3.2</b>	<b>Caracterização do experimento .....</b>	<b>22</b>
<b>3.3</b>	<b>Variáveis coletadas .....</b>	<b>25</b>
<b>3.4</b>	<b>Análises estatísticas.....</b>	<b>27</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>28</b>
<b>4.1</b>	<b>Produção de biomassa das culturas de coberturas e estande inicial da soja .....</b>	<b>29</b>
<b>4.2</b>	<b>Índice de área foliar (IAF) e desenvolvimento do dossel.....</b>	<b>31</b>
<b>4.3</b>	<b>Estande final, componentes de rendimento e o rendimento de grãos .....</b>	<b>31</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>36</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>37</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A soja é a principal oleaginosa produzida e consumida mundialmente, destacando-se pelo alto valor econômico. Seu teor de óleo ultrapassa 20%, enquanto o de proteína supera 40%, tornando-a uma cultura estratégica para a indústria de alimentos, rações e biocombustíveis. No entanto, o desenvolvimento e o rendimento dos grãos estão diretamente associados à qualidade do manejo agrícola. Nesse sentido, o uso de plantas de cobertura tem ganhado destaque tanto no mercado quanto no campo, devido à sua capacidade de melhorar a fertilidade do solo e, posteriormente, promover melhores condições para o desenvolvimento das culturas subsequentes (Filho, 2014).

Nas últimas décadas, a produção de soja no Brasil avançou significativamente, impulsionada não apenas pela expansão das áreas cultivadas, mas também pelo aprimoramento tecnológico e das práticas de manejo, resultando em ganhos expressivos de rendimento (Freitas, 2011).

Avanços em tecnologias para manejo de solos, com técnicas de correção da acidez, o processo de inoculação das sementes para fixação biológica do nitrogênio e a adubação balanceada com macronutrientes e micronutrientes, permitiram a cultura expressar a sua potencialidade nas diversas condições edafoclimáticas do território brasileiro (Freitas, 2011).

Os adubos químicos não renováveis têm sido historicamente a principal opção adotada pelos produtores brasileiros na adubação de culturas de grãos de verão. Contudo, nos últimos anos, os preços desses insumos sofreram fortes oscilações devido a disputas geopolíticas e políticas econômicas globais, como o conflito entre Rússia e Ucrânia — países responsáveis por grande parte da produção e exportação mundial de fertilizantes nitrogenados, fosfatados e potássicos. Essas tensões, somadas à elevada dependência brasileira de importações de fertilizantes, que supera 80% da demanda nacional, impactaram diretamente o custo de produção agrícola (Conab, 2025). Este mesmo cenário tem causado decréscimo nos preços dos produtos agrícolas, com consequente redução do lucro do produtor.

Em virtude disso e da necessidade de aumentar a sustentabilidade ambiental dos processos produtivos busca-se alternativas de adubação para reduzir a dependência desses insumos na lavoura. Dessa forma, o uso de culturas de coberturas de inverno, pré-cultivo da soja pode contribuir para a redução do uso de adubos químicos não renováveis.

Assim, esta pesquisa possibilitará a indicação da melhor cultura de cobertura pré-soja, o que poderá maximizar a sustentabilidade do processo produtivo e a lucratividade do produtor rural.

## **1.1 Objetivos**

### 1.1.1 Objetivo Geral

Verificar o efeito de plantas de cobertura de inverno sobre o desenvolvimento vegetativo e o desempenho produtivo da soja.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

Analisar o vigor e o desenvolvimento vegetativo da soja por meio do índice de vegetação NDVI, obtidos com uso de drone.

Verificar o efeito de diferentes plantas de cobertura de inverno sobre o estande inicial de plantas e o índice de área foliar (IAF) da soja.

Comparar diferentes plantas de cobertura de inverno quanto ao efeito sobre os componentes do rendimento e o rendimento de grãos da soja.

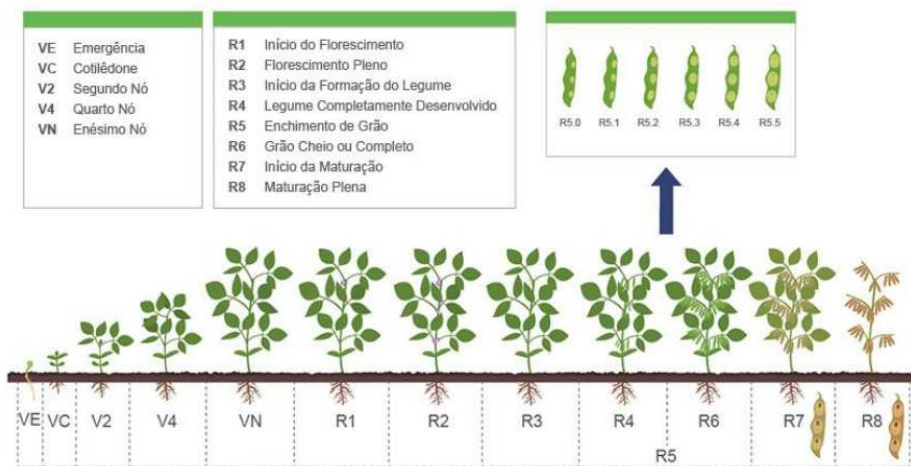
## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

A soja, *Glycine Max*(L.) Merrill pertence à família Fabaceae, gênero *Glycine L*, trata-se de uma planta anual ereta, herbácea e de reprodução autógama (Tropicos, 2025).

A planta de soja possui dois tipos de folhas sendo elas simples e primárias, denominadas como folhas compostas e opostas, constituídas de três folíolos, ou seja, trifoliolada com sua disposição alternada. O caule é herbáceo, constituído por um eixo principal formado por uma sucessão de nós e entrenós. O primeiro nó corresponde à inserção dos cotilédones, já o segundo corresponde a inserção das primeiras folhas; e por fim, o terceiro à primeira folha trifoliolada. Do eixo principal podem surgir ramificações laterais que, por sua vez, podem multiplicar o potencial de florescimento da planta.

O desenvolvimento da planta de soja é dividido em duas fases, vegetativa (V), constituídas por V0 até VN e reprodutiva (R) constituída por R5 até R8, conforme representado na Figura 1, (Fehr; Caviness, 1977).

**Figura 1 – Escala fenológica da soja.**



**Fonte: Fehr e Caviness (1977).**

Portanto a fase vegetativa inicia com o estágio V0 sendo a germinação na qual a semente absorve água, e conseqüentemente ocorre a emergência da radícula e a transformação em raiz primária. No estágio V1 ocorre a emergência, momento em que 50% dos cotilédones aparecem ao nível do solo, iniciando a separação e o desenvolvimento do epicótilo. Os estágios V2, V3 e V4 caracterizam-se pelo desenvolvimento das folhas, iniciando-se com o surgimento das folhas primárias, depois das folhas trifolioladas e dos nós e gemas que produzem ramos (Oliveira *et al.*, 2018).

A fase reprodutiva começa com R1 momento da pré floração e do surgimento da primeira flor aberta em qualquer nó do caule. Em R2 tem-se o florescimento pleno o qual é caracterizado pela flor aberta em um dos dois últimos nós do caule com folha completamente desenvolvida; em R3 ocorre a formação de vagens. No estágio R4 temos as vagens completamente desenvolvidas. E a partir do R5 inicia-se o enchimento de grão; em R6 os grãos então “cheios”, ou seja, completamente formados, portanto ao desfecho desta etapa, no R6 os grãos perdem a

cor verde e começam a mostrar as características da cultivar e escurecimento do grão, assim como, ocorre o início da desfolha, dando início a maturação fisiológica. Por fim, no estágio R8 ocorre a maturação fisiológica, ou seja, as vagens perdem a pigmentação, começam a secar e os grãos adquirem a coloração típica da cultivar (Oliveira *et al.*, 2018).

De modo geral, as cultivares de soja disponíveis no mercado brasileiro apresentam ciclos que variam entre 100 e 160 dias, sendo classificadas em grupos de maturação precoce, semiprecoce, médio, semitardio e tardio, conforme a região de cultivo. No entanto, as cultivares mais utilizadas comercialmente no país possuem, em sua maioria, ciclos que oscilam entre 90 e 120 dias.

## 2.1 Importância socioeconômica

A cultura da soja é a principal *commodity* do Brasil, com significativa contribuição à economia nacional. Na safra 2024/25, o país alcançou uma produção estimada de cerca de 169,7 milhões de toneladas, com aproximadamente 47,6 milhões de hectares cultivados (Embrapa, 2025; Conab, 2025). Esses números reforçam o protagonismo brasileiro no cenário mundial da soja, tanto em termos de volume produzido quanto de área ocupada. A cultura da soja é a principal *commodity* no país com foco na produção de grão, gerando uma grande contribuição econômica no Brasil.

A soja é a principal oleaginosa produzida e consumida mundialmente, destacando-se por seus teores de óleo (18% a 20%) e proteína (até 45%) nos grãos (Embrapa, 2025).

No Brasil, sua importância econômica é expressiva: em 2024, o agronegócio nacional registrou PIB de aproximadamente R\$ 2,72 trilhões, representando 23,2% do PIB brasileiro, sendo que a cadeia produtiva da soja e do biodiesel respondeu por cerca de R\$ 650,4 bilhões (Deral, 2024). Essa relevância reafirma o papel da soja como uma das principais commodities do país, contribuindo substancialmente para o Produto Interno Bruto e consolidando o protagonismo brasileiro no mercado mundial.

Atualmente, no contexto da agricultura mundial, a soja destaca-se como o quarto produto mais consumido entre cereais e oleaginosas, com ampla aplicação no setor industrial, especialmente na produção de óleos. Além disso, é reconhecida como uma importante fonte de proteína vegetal, desempenhando papel fundamental na formulação de alimentos e rações (Rhoden, 2020).

## 2.2 Fixação biológica de nitrogênio na cultura da soja

Um dos principais componentes do solo é a porção biológica, a qual é composta por comunidades de pequenos animais (mesofauna) e microrganismos (microfauna e microflora). A atividade biológica é responsável por inúmeras das propriedades dos solos, tais como a aeração, infiltração de água, os bioporos, as galerias, agregação de partículas do solo (Ceretta;

Aita, 2008), podendo-se afirmar que um solo sem atividade biológica é um solo sem vida (Prado, 2016).

Um exemplo de grande importância de atividade biológica de organismos do solo, que beneficiam o crescimento das plantas é a FBN. Nesse processo, plantas da família das leguminosas obtêm nitrogênio através de uma simbiose com bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico, denominadas rizóbios.

O nitrogênio (N) é o nutriente exigido em maior quantidade pela cultura da soja (*Glycine max* L.), em razão da elevada concentração de proteínas nos grãos, que apresentam, em média, 6,5% de N em sua composição. Além disso, o nitrogênio presente na matéria orgânica do solo constitui um reservatório limitado, que pode ser rapidamente esgotado após sucessivos cultivos. As condições predominantes no território brasileiro, caracterizadas por altas temperaturas e elevados índices de umidade, favorecem a rápida decomposição da matéria orgânica e aumentam as perdas de nitrogênio, resultando em solos frequentemente pobres nesse nutriente (Santos *et al.*, 2008).

Entretanto, a fixação biológica de nitrogênio realizada por plantas leguminosas pode, em alguns casos, substituir a adubação mineral, dependendo da espécie utilizada e do sistema de cultivo adotado. Em áreas cultivadas com espécies não leguminosas ou em sistemas com baixa eficiência na fixação biológica, é possível adotar o consórcio com culturas que tenham alta capacidade de fixar nitrogênio, como forma de suprir essa demanda (Embrapa, 2025).

No presente estudo, a inserção de leguminosas nos mixes de plantas de cobertura pode ter contribuído para o incremento da disponibilidade de nitrogênio no solo, favorecendo o desenvolvimento inicial e o rendimento da soja cultivada em sucessão.

Esse aporte biológico, aliado à diversidade de espécies presentes no consórcio, tende a melhorar a ciclagem de nutrientes e reduzir a necessidade de adubação mineral, promovendo maior sustentabilidade ao sistema de produção (Hungria; Nogueira; Araújo, 2020; Embrapa, 2025).

### **2.3 Plantas de cobertura**

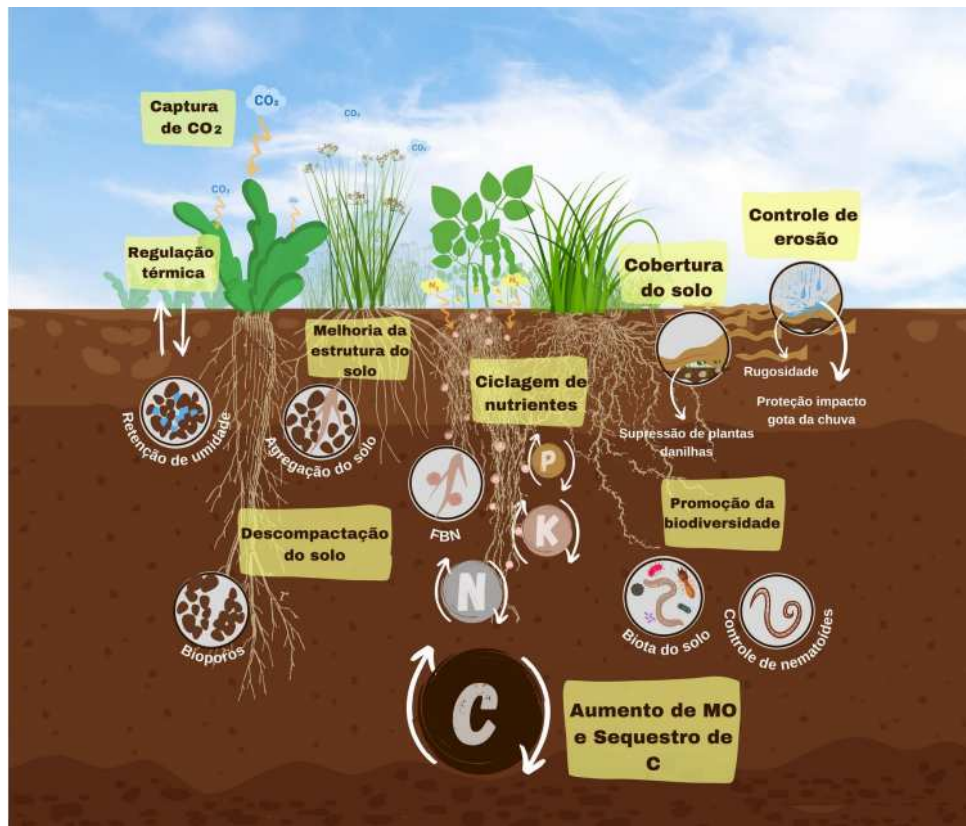
O Brasil é o pioneiro na criação e adoção de métodos e práticas conservacionistas do solo, tais como o sistema de plantio direto (SPD) (Carvalho, 2024).

Dentre inúmeros sistemas de conservação do solo, os três pilares que norteiam o SPD, são: o não revolvimento do solo, cobertura do solo durante as entressafras e rotação de culturas.

Diante disso, a utilização de plantas de coberturas surge como uma solução para manter o solo coberto, durante o ano todo, no sentido de renovação da área, e para a utilização de cobertura nas entressafras, visando a ciclagem de nutrientes, controle de erosão e supressão da emergência de plantas invasoras (Carvalho, 2024).

Portanto, o uso de plantas de coberturas, além de cobrir o solo e evitar a erosão, também cumpre vários outros papéis e traz muitos benefícios ao solo e aos cultivos subsequentes (Figura 2).

**Figura 2 – Benefícios das plantas de cobertura na ciclagem de nutrientes, estruturação do solo e sequestro de carbono em sistemas agrícolas sustentáveis.**



Fonte: ESALQ/USP (2021).

O uso de plantas de cobertura traz benefícios significativos para os processos físicos, químicos e biológicos do solo, favorecendo as demais funcionalidades do solo em desenvolvimento de plantas e suporte ao crescimento.

Contudo, a importância dos benefícios das plantas de cobertura é condicionada pelas condições climáticas, característica do solo, indicação e limitação de uso; conhecer as implicações para manejar a saúde do solo é imprescindível para minimizar possíveis erros no sistema de produção agrícola (Carvalho, 2024).

Dessa forma, a seleção da espécie de planta de cobertura mais adequada para o período de inverno deve considerar critérios como elevada produção de biomassa na região, boa adaptação às condições locais, rápido estabelecimento para garantir cobertura eficiente do solo, além de rusticidade, vigor competitivo, bom desenvolvimento do sistema radicular Petry *et al.* (2012) e elevada capacidade de absorção e acúmulo de nutrientes (Souza, 2013).

A escolha das espécies de cobertura de solo envolve considerações sobre a relação carbono/nitrogênio (C/N), uma vez que diferentes espécies podem gerar resultados distintos. Quando se opta pelo cultivo de uma única espécie, a aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb.) é a mais tradicional e amplamente utilizada pelos produtores como cobertura do solo no inverno. Essa espécie apresenta elevada capacidade de imobilização do nitrogênio (N), o que pode comprometer o desenvolvimento da cultura subsequente e reduzir o rendimento de grãos, especialmente quando a sucessora é outra gramínea (Silva, 2007).

Contudo, ao optar pelo uso de uma mescla de culturas, como os mixes de plantas de cobertura, a eficiência do sistema dependerá da complexidade das interações entre as espécies que o compõem. Fatores como autocompetição e alelopatia podem influenciar o desenvolvimento das plantas, retardando os efeitos e/ou benefícios que essas espécies tendem a proporcionar ao sistema.

Entretanto uma combinação adequada de espécies de plantas de cobertura, pode aumentar a capacidade de absorção de nutrientes nas camadas superficiais do solo, promovendo acúmulo durante o período de cultivo e, posteriormente, sua liberação por meio da decomposição e mineralização de resíduos vegetais (Dhima *et al.*, 2007).

Portanto, se a finalidade é a cobertura do solo, é recomendado escolher plantas com maior relação C/N, pois estas se decompõem mais lentamente. Neste caso, indica-se o uso de gramíneas. Por outro lado, se o objetivo é o fornecimento de nutrientes, em curto espaço de tempo para a cultura sucessora, deve-se optar por plantas com menor relação C/N, sendo indicado o uso de leguminosas. (Teixeira; Loss; Pereira marcos gervasio e pimentel, 2011).

#### **2.4 Exigências nutricionais da cultura da soja e suprimento via plantas de cobertura**

O nitrogênio (N) é um dos nutrientes essenciais mais demandados pelas plantas, especialmente pelas leguminosas, pois faz parte de muitos compostos vitais, incluindo aminoácidos, ácidos nucleicos e clorofila. As plantas absorvem N de duas formas: orgânica e inorgânica. Usualmente a absorção do N ocorre na forma inorgânica, como amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) e nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ). Assim como, elas também podem absorver nitrogênio em formas orgânicas, como ureia, aminoácidos e peptídeos, entre outras. De acordo com a EMBRAPA (2008), para produzir uma tonelada de grãos de soja, a planta necessita de aproximadamente 80 kg de nitrogênio (N). Desse total, cerca de 65 kg de N são acumulados nos grãos, que possuem alto teor de proteína, e os 15 kg restantes são utilizados na formação de folhas, caules e raízes.

Contudo, para maximizar a eficiência do uso do nitrogênio, é importante considerar também a mineralização da matéria orgânica do solo e o aporte de nitrogênio proveniente dos restos culturais. À medida que as culturas de cobertura crescem, elas absorvem nutrientes necessários para o seu desenvolvimento a partir do solo. Quando essas plantas completam o seu ciclo, e são substituídas pelas culturas de interesse, estas liberam esses nutrientes de volta ao solo, através da decomposição da sua biomassa, contribuindo para suprimento de elementos essenciais (Salviano, 2023).

O fornecimento de nutrientes oriundos da decomposição das plantas de cobertura está diretamente relacionado à relação carbono/nitrogênio (C/N) dos resíduos vegetais. Conforme destacado por EMBRAPA (2019), essa relação representa o balanço entre a quantidade de carbono e nitrogênio presente na biomassa das espécies utilizadas. Assim, a relação C/N de cada cultura determina a velocidade de decomposição e o padrão de mineralização dos seus resíduos no solo.

Espécies com elevada relação C/N, como as gramíneas, apresentam decomposição mais lenta, mantendo a palhada por um período prolongado sobre o solo e favorecendo a proteção superficial e o acúmulo de matéria orgânica. Em contrapartida, plantas com baixa relação C/N, geralmente leguminosas, decompõem-se mais rapidamente, liberando nutrientes em maior velocidade, especialmente o nitrogênio orgânico, o que as torna importantes fontes para o cultivo subsequente.

Portanto, o suprimento de nutrientes provenientes da decomposição das plantas de coberturas é condicionado pela relação C/N das plantas, ou seja, segundo EMBRAPA (2019) a relação C/N nada mais é que a razão da quantidade de carbono (C) e nitrogênio (N) presente na biomassa da planta.

Além disso, o sistema de plantio direto com a utilização de plantas de coberturas tem ganhado espaço nas propriedades rurais pois é uma alternativa essencial para o aumento da sustentabilidade dos modelos de produção agrícola. Uma vez que essas plantas de cobertura absorvem os nutrientes da subsuperfície do solo e posteriormente os liberam na camada superficial do solo, por meio de resíduos da decomposição e mineralização (Duda *et al.*, 2003).

O nitrogênio (N) encontra-se nos componentes estruturais da planta, sendo ele constituinte das proteínas tendo papel fundamental no metabolismo vegetal (Taiz, 2017). O potássio (K) se encontra nos componentes não estruturais e na forma iônica no vacúolo das células das plantas (Marschner, 2011). Noutro caso, o fósforo (P) encontra-se em sua maior parte associado a componentes orgânicos do tecido vegetal da planta (Marschner, 2011).

As principais espécies de aveia para serem utilizadas como planta de cobertura são a aveia preta (*Avena strigosa* Schreb.) e a aveia branca (*Avena sativa* L.). A aveia preta é considerada uma planta de rápido crescimento inicial e alta produção de biomassa no primeiro corte. Ademais, é considerada uma espécie rústica, de fácil adaptação a vários tipos de solo e tolerante à acidez (Fontaneli; Santos; Uergs, 2012). Em um estudo avaliando diferentes plantas de cobertura, a aveia preta em cultivo solteiro e a aveia preta consorciada com nabo forrageiro tiveram maior potencial para aumentar o rendimento de grãos de soja. (Krenchinski; Cesco victor José salomão e rodrigues, 2018).

Entre os principais mixes de plantas de cobertura avaliados no mercado, o Rx330 e o Rx610 destacaram-se por promover elevadas taxas de cobertura do solo, assim como elevados acúmulos de biomassa verde e massa seca ao longo do ciclo experimental (Sandrin, 2022). Entretanto, o Rx610 se destacou por apresentar maiores valores de acúmulo de nitrogênio (N). Contudo, os mixes com plantas de cobertura permitiram uma relação C/N mais equilibrada, possibilitando uma melhor qualidade de resíduo no solo.

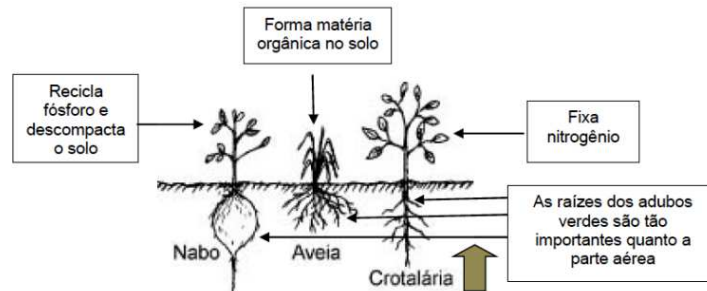
## **2.5 Plantas de cobertura de inverno e o rendimento de grãos da soja**

Nos sistemas integrados de produção, em que o produtor explora culturas como milho e soja no verão, a utilização de espécies de cobertura no inverno tem se mostrado uma estratégia eficiente de adubação verde. Leguminosas, como a ervilhaca, e crucíferas, como o nabo

forrageiro, destacam-se pelo aporte de nitrogênio e pela reciclagem de nutrientes (Carvalho, 2024).

Quando consorciadas com gramíneas, como aveia preta, aveia branca e centeio, formam combinações que favorecem a proteção do solo, aumentam a matéria orgânica e contribuem para a melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (Crusciol *et al.*, 2015).

**Figura 3 – Demonstração da parte área e das raízes de plantas e os benefícios no sistema.**



**Fonte: Servolo (2025).**

Além disso, o cultivo dessas espécies, seja de forma solteira ou em consórcio, pode ser realizado por semeadura em linhas ou a lanço, com posterior incorporação ao solo. Geralmente, esse cultivo ocorre entre as safras das culturas de interesse visando manter o solo coberto, e promover benefícios ao sistema produtivo.

Do mesmo modo, Tiecher e Gubiani Elci e Santanna (2020) conduziram um estudo de longa duração (26 anos), que avaliou o efeito de diferentes espécies de cobertura de inverno (leguminosas, gramíneas e crucíferas) sob distintos manejos de solo. Os resultados demonstraram que as leguminosas contribuem para a incorporação de nitrogênio ao sistema por meio da fixação biológica, enquanto as gramíneas e as crucíferas favorecem o aumento do carbono orgânico, a reciclagem de nutrientes, e a melhoria da estrutura e proteção do solo.

## 2.6 Índices de vegetação

Os índices de vegetação (IVs) são obtidos através de dosséis baseados em sensoriamento remoto; são algoritmos simples e eficazes para avaliações quantitativas e qualitativas de cobertura vegetal, vigor e dinâmica de crescimento. Esses índices foram fortemente implementados em aplicações de SR usando diferentes plataformas aéreas e de satélite, com avanços recentes usando veículos aéreos não tripulados (VANTs) (Xue jinru e su, 2017).

Os índices de vegetação são calculados a partir de várias combinações matemáticas de valores espectrais, que podem incluir somas, divisões ou multiplicações de bandas específicas. A maioria desses índices é projetada para produzir valores normalizados, geralmente variando entre -1 e 1. Esses valores fornecem uma estimativa da quantidade de biomassa ou do vigor vegetativo em uma área observada. Dependendo do índice e de seu objetivo específico, eles podem indicar diferentes aspectos da vegetação, como a densidade, a sanidade ou o conteúdo de pigmentos das plantas (Xue jinru e su, 2017).

O Índice Vegetativo da Diferença Normalizada (NDVI) é um índice espectral calculado a partir dos valores de reflectância das bandas do infravermelho próximo (NIR) e do vermelho (RED) pela fórmula:  $NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$ . Os valores de NDVI variam de -1 a 1; valores próximos de 1 indicam áreas de vegetação densa. Aplicando a fórmula do NDVI aos valores dos pixels de imagens de reflectância do NIR e do RED, obtém-se uma imagem de NDVI que destaca as variações na densidade da cobertura vegetal. As imagens de NDVI são utilizadas em estudos para medir o índice de área foliar, determinar a porcentagem de cobertura do solo e estimar a radiação fotossinteticamente ativa, conforme descrito por (Quartaroli, 2014).

Segundo Araújo (2010), o NDVI é dependente das condições de iluminação, uma vez que, o processo fotossintético que é a absorção da radiação solar pela clorofila ocorre na faixa do visível, ou vermelho (650 – 660nm). É considerado, portanto, um índice de razão já que tecido foliar reflete essa radiação na faixa do infravermelho próximo (700 e 1200nm).

De acordo com Gitelson *et al.* (2007), quanto mais densa a cobertura vegetal, os índices tendem a +1, pois maior é a reflectância na faixa de comprimento de onda do infravermelho próximo e maior absorção na faixa do visível. Solo descoberto ou com pouca vegetação apresenta valores positivos, porém distantes do valor máximo do índice, +1.

Sampaio (2020) avaliaram o potencial do NDVI, extraído de imagens obtidas por sensores aéreos embarcados em VANT, para mensurar a atividade fotossintética das culturas de soja e milho. No entanto, os resultados obtidos indicaram que o NDVI responde pouco às mudanças de fase fenológica em estádios mais avançados, devido à saturação de seus valores com o aumento da biomassa.

Safanelli (2014) constataram que o índice SAVI tem a capacidade de detectar a variabilidade espacial e temporal da cultura da soja em todos os estádios fenológicos, devido ao uso da constante adicional “L”.

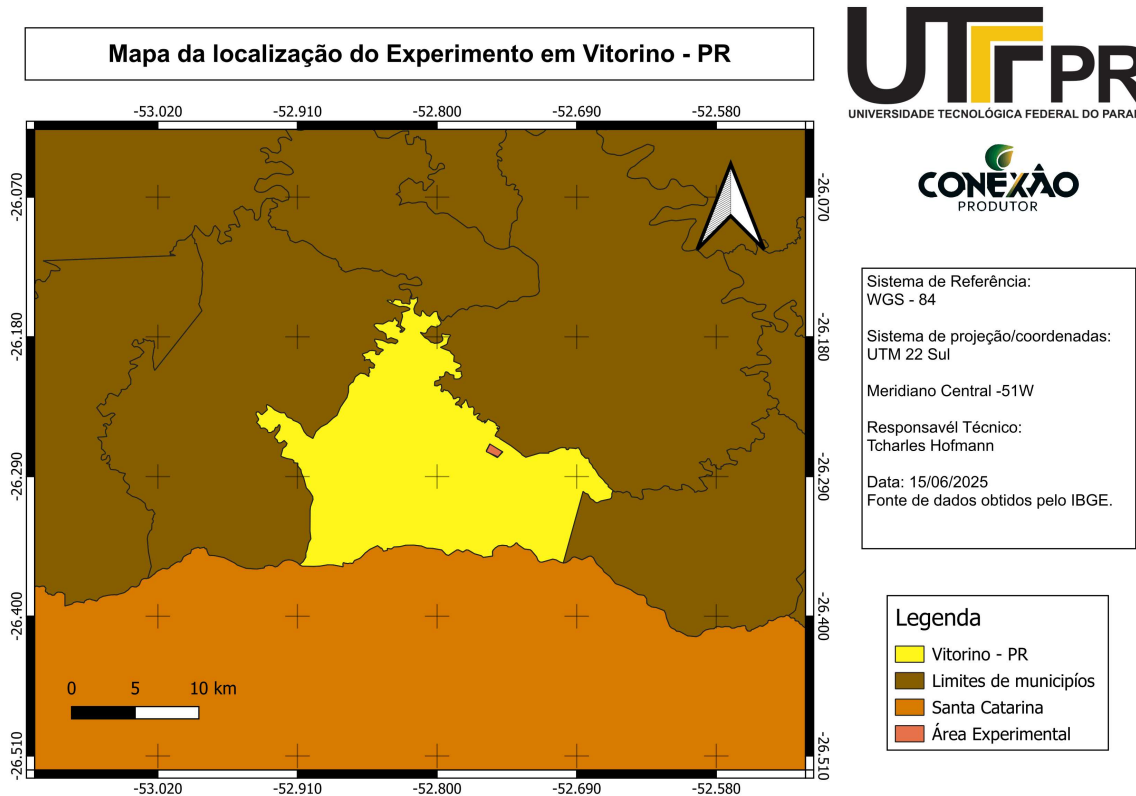
### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Descrição do local

O experimento foi conduzido no período de 23 de abril de 2024, a 21 de janeiro de 2025, em uma propriedade rural particular localizada no município de Vitorino – PR, nas coordenadas 26°17'39.4"S e 52°40'24.8"W, ilustrado na figura 4.

O clima da região é classificado como Cfb (subtropical úmido), segundo a classificação de Köppen (Nitsche; Caramori paulo henrique e ricce, 2019). O solo da área experimental é um Latossolo Vermelho Distroférico, com relevo ondulado (Santos *et al.*, 2018).

**Figura 4 – Mapa da localização do experimento no município de Vitorino-PR, 2024/2025.**



**Fonte: Autoria própria (2025).**

#### 3.2 Caracterização do experimento

A área do experimento destinada às parcelas experimentais apresentou dimensões de 10 m de largura por 17 m de comprimento, totalizando 170 m<sup>2</sup> por parcela. A área total do experimento foi de 3.060 m<sup>2</sup> (Figuras 5 e 6).

Figura 5 – Local do experimento, no município de Vitorino-PR, 2024/2025.

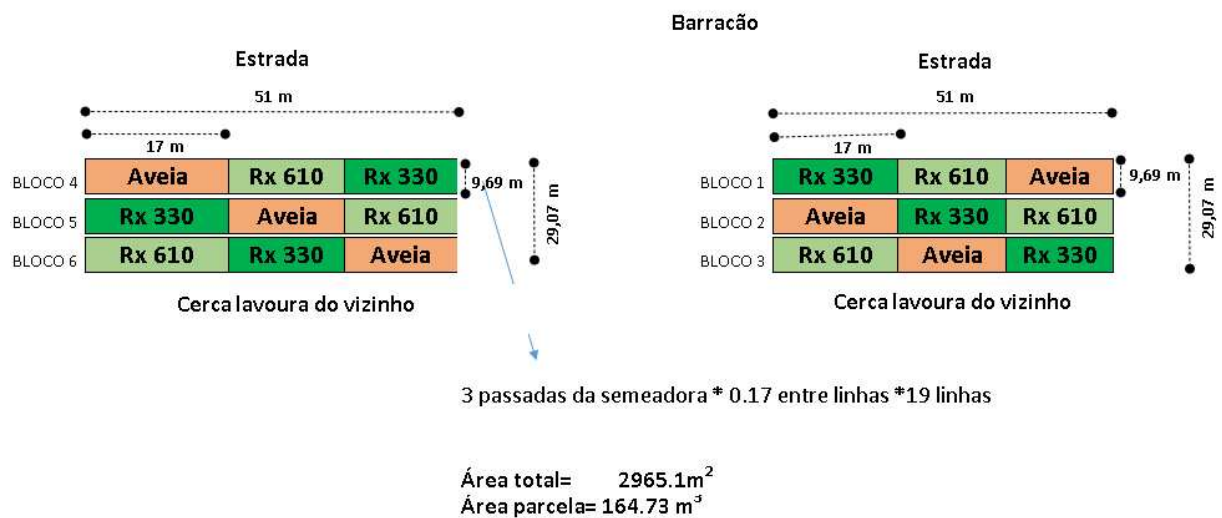


Fonte: Autoria própria (2025).

O experimento foi conduzido em duas fases principais, que podem ser caracterizadas individualmente por: cultivo e manejo das culturas de cobertura (inverno 2024); cultivo e manejo da cultura de soja (primavera/verão 2024/2025).

Os tratamentos consistiram em três coberturas do solo de inverno: Aveia preta IPR 61, Mix Raix 330<sup>®</sup> (composto por aveia preta IPR 61, centeio BRS Serrano, ervilhaca SS Esmeralda e ervilhaca SS Combate) e Mix Raix 610<sup>®</sup> (composto por aveia preta IPR 61, ervilhaca SS Combate, ervilhaca SS Esmeralda e nabo pivotante japonês Minowase). As coberturas foram implantadas em campo no delineamento experimental blocos ao acaso, com seis repetições, dispostas como mostra a figura 6.

Figura 6 – Croqui do experimento. Vitorino, 2024/2025.



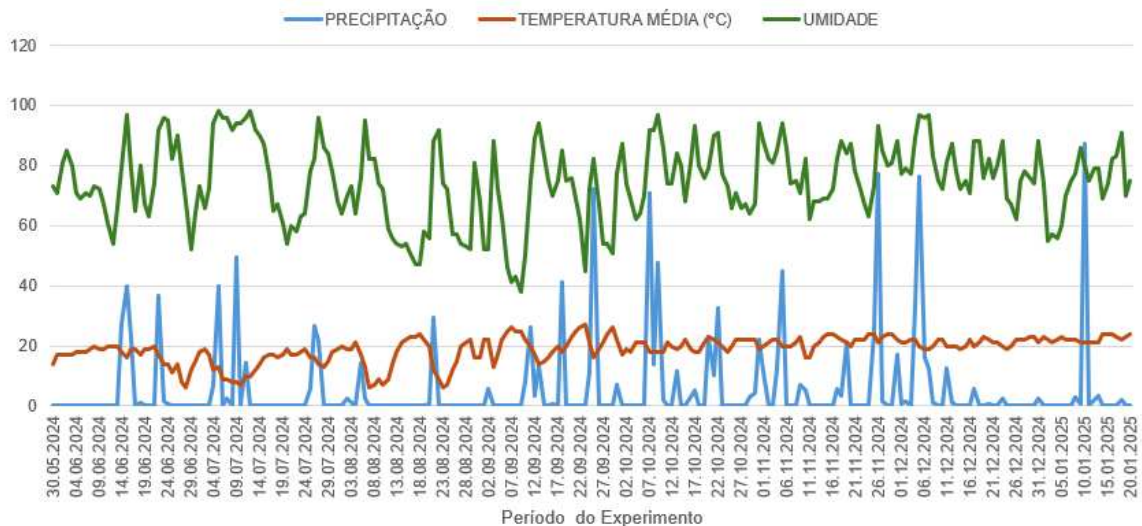
Fonte: Adaptado Bortolli (2025).

Para a caracterização química do solo da área experimental, antes da implantação do experimento procedeu-se à coleta de amostras de solo entre as profundidades de 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm, as quais foram encaminhadas para o laboratório de análises de solo da UTFPR, com o objetivo de realizar as análises químicas e determinar as condições iniciais de fertilidade da área.

Posteriormente, em 30 de maio de 2024 realizou-se a semeadura das culturas de cobertura. Foi utilizada uma semeadora de fluxo contínuo de 19 linhas, para plantio direto, com espaçamento de 0,17cm entre linhas e profundidade de semeadura de 3 cm. Não foi realizada adubação na semeadura das coberturas, tampouco houve dessecação prévia da área experimental. A taxa de semeadura utilizada foi de 70 kg ha<sup>-1</sup> para a aveia-preta e 40 kg ha<sup>-1</sup> para os mixes.

Durante o estabelecimento das plantas de cobertura, foi realizada a aplicação de 50 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio em cobertura, com o objetivo de favorecer o desenvolvimento inicial das espécies. Essa medida foi adotada devido à ocorrência de um período de estiagem no início do ciclo (Figura 7), o que poderia comprometer a emergência, o vigor inicial e a produção de biomassa das coberturas. A suplementação nitrogenada buscou minimizar esses efeitos adversos, garantindo condições adequadas para o crescimento e a formação de palhada.

**Figura 7 – Climograma do local durante o período de condução dos experimentos, com Destaque para a Estiagem no Início do Ciclo. Vitorino, 2024/2025**



**Fonte: Autoria própria (2025).**

As culturas permaneceram na lavoura por 110 dias após a semeadura (DAS), período inferior ao ciclo recomendado, que varia de 130 a 150 dias. Dessa forma, não houve tempo suficiente para a plena expressão do potencial genético das espécies e, conseqüentemente, para o completo desempenho de suas funções no sistema.

Aos 110 DAS, no dia cinco de setembro de 2024 foi realizado um corte da matéria verde das plantas de cobertura, utilizando dois quadrados de 0,25 m<sup>2</sup> por unidade experimental, e o valor da MS foi obtido pela média desses dois valores. A matéria verde foi colocada em sacos

de papel kraft e levada para secagem a 45 °C em estufa até a obtenção de peso constante. Após a secagem o material foi pesado utilizando balança de precisão analítica e estimada a matéria seca por hectare.

A implantação da cultura da soja foi realizada no dia 25 de setembro de 2024 com uma semeadora-adubadora de precisão de nove linhas, para plantio direto, com espaçamento de 45 cm entre linhas e profundidade de semeadura de 3 cm.

A cultivar utilizada foi a BRASMAX Zeus<sup>®</sup>, com população estimada em, aproximadamente, 280 mil plantas finais por hectare.

A adubação de base, consistiu na aplicação de 290 kg ha<sup>-1</sup> do fertilizante formulado 04-30-10 (N-P-K). Também foi aplicado à lanço 145 kg ha<sup>-1</sup> de cloreto de potássio (KCl).

Para as avaliações e os tratos culturais, as intervenções foram realizadas conforme o desenvolvimento da cultura, com base em monitoramento contínuo da lavoura. Quando necessário, aplicaram-se defensivos agrícolas de maneira criteriosa, seguindo as recomendações técnicas de manejo da cultura, com o objetivo de preservar a sanidade e o vigor das plantas.

Durante o ciclo da soja, foram realizadas aplicações específicas de produtos fitossanitários. Na primeira aplicação utilizou-se Glifosato<sup>®</sup> (5 kg ha<sup>-1</sup>), Cypress<sup>®</sup> (0,5 L ha<sup>-1</sup>) e Engeo Pleno<sup>®</sup> (0,200 L ha<sup>-1</sup>) para o controle de plantas daninhas e pragas iniciais. Na segunda aplicação, efetuada no desenvolvimento vegetativo, foram utilizados Sugoy<sup>®</sup> (2,0 L ha<sup>-1</sup>), Alade<sup>®</sup> (0,750 L ha<sup>-1</sup>) e novamente Engeo Pleno (0,75 a 0,200 L ha<sup>-1</sup>), visando ao controle de insetos e doenças iniciais. Na terceira aplicação, correspondente ainda o desenvolvimento vegetativo, empregaram-se Fox<sup>®</sup> (2,0 L ha<sup>-1</sup>), Bravonil<sup>®</sup> (2,0 L ha<sup>-1</sup>) e Perito<sup>®</sup> (900 g ha<sup>-1</sup>) para controle preventivo de doenças fúngicas e pragas.

Além disso, no momento da semeadura, foi aplicado o inoculante Bioma Brady<sup>®</sup> na dose de 5 L ha<sup>-1</sup>, com o objetivo de favorecer a fixação biológica de nitrogênio e o desenvolvimento inicial das plântulas.

### 3.3 Variáveis coletadas

Durante o desenvolvimento da cultura da soja, foram avaliadas variáveis relacionadas ao crescimento e ao desempenho das plantas. Aos 21 dias após a semeadura (DAS), realizou-se a determinação do estande inicial, obtido por meio da contagem direta do número de plântulas emergidas em três linhas centrais de 4 m de comprimento, em cada unidade experimental. O resultado foi expresso como a média do número de plantas por metro linear.

Nesse período, foram realizadas coletas de imagens aéreas com o uso de um drone Phantom 4 Pro (P4), equipado com câmera multiespectral, a qual permite a captura de imagens em diferentes bandas do espectro eletromagnético. Essa configuração possibilita a obtenção de índices de vegetação e a estimativa do índice de área foliar (IAF) pelo método indireto, caracterizando o primeiro voo de monitoramento da área experimental. Posteriormente, novos voos foram realizados aos 45, 65, 85 e 115 dias após a semeadura, contemplando diferentes

estádios fenológicos da soja. As imagens adquiridas foram utilizadas para avaliação visual do desenvolvimento da cultura, permitindo acompanhar seu crescimento e vigor ao longo do ciclo.

Paralelamente, nos estádios fenológicos R2 e R3, foram realizadas avaliações do índice de área foliar (IAF) nas datas 26 de novembro de 2024 e 16 de dezembro de 2024, utilizando o método não destrutivo. Para tal, foram selecionadas aleatoriamente cinco plantas, coletadas amostras representativas de folhas no terço médio das plantas, em cada unidade experimental. Em cada folha, mensuraram-se o comprimento (C) e a largura máxima (L) com o auxílio de régua milimetrada.

A área foliar foi estimada por meio da equação  $AF = C \times L \times f$ , em que C representa o comprimento da folha (cm), L corresponde à largura máxima (cm) e f é o fator de correção específico para a cultura da soja. De acordo com a relação proposta por Richter *et al.* (2014), o fator de correção adotado foi  $f = 2,0185$ , resultando na fórmula ajustada  $AF = 2,0185 \times (C \times L)$ .

O índice de área foliar (IAF) foi determinado pela razão entre a área foliar total da planta e a área de solo ocupada pelas plantas, expressando-se em m<sup>2</sup> de folha por m<sup>2</sup> de solo. Esse procedimento permitiu acompanhar o desenvolvimento vegetativo e o acúmulo de biomassa foliar ao longo dos estádios reprodutivos.

A utilização do método não destrutivo permitiu a repetição das medições nas mesmas parcelas experimentais, sem a necessidade de remoção de folhas, assegurando maior precisão no monitoramento da dinâmica da área foliar.

A colheita da soja foi realizada em 21 de janeiro de 2025, utilizando as mesmas três linhas centrais de 4 m de comprimento em cada unidade experimental. Nessas mesmas linhas, determinou-se o estande final por meio da contagem do número de plantas remanescentes. O resultado foi expresso como a média do número de plantas por metro linear. Na mesma ocasião, foi efetuada a contagem do número de vagens por metro linear, utilizando-se as três linhas centrais como área amostral, e o valor obtido foi expresso pela média do número de vagens por metro linear.

A trilha das amostras foi conduzida com o auxílio de um batedor pertencente à área experimental da UTFPR, acoplado à tomada de força (TDP) de um trator. O equipamento operou a aproximadamente 1.800 rotações por minuto (rpm) no motor, o que correspondeu a 540 rpm transmitidos à TDP, garantindo a padronização do processo de trilha e a separação adequada dos grãos.

Posteriormente, os grãos foram submetidos à determinação do teor de umidade, utilizando-se o medidor de umidade disponibilizado pelo laboratório de sementes da UTFPR, seguida da pesagem em balança de precisão. Os valores foram corrigidos para 13% de umidade, padrão adotado para a expressão do rendimento de grãos em kg ha<sup>-1</sup>.

### **3.4 Análises estatísticas**

Os dados foram inicialmente submetidos à verificação dos pressupostos de normalidade dos erros e homogeneidade de variâncias, essenciais para a aplicação da análise de variância (ANOVA).

Em seguida, realizou-se a ANOVA para detectar diferenças significativas entre os tratamentos. Quando essas diferenças foram observadas, aplicou-se o teste de comparação múltipla de médias de Tukey.

Além disso, utilizou-se o teste de Dunnett para comparar individualmente cada tratamento em relação à testemunha (Padrão produtor rural), constituída pela aveia preta IPR 61. Para todas as análises foi utilizado 5% de probabilidade de erro.

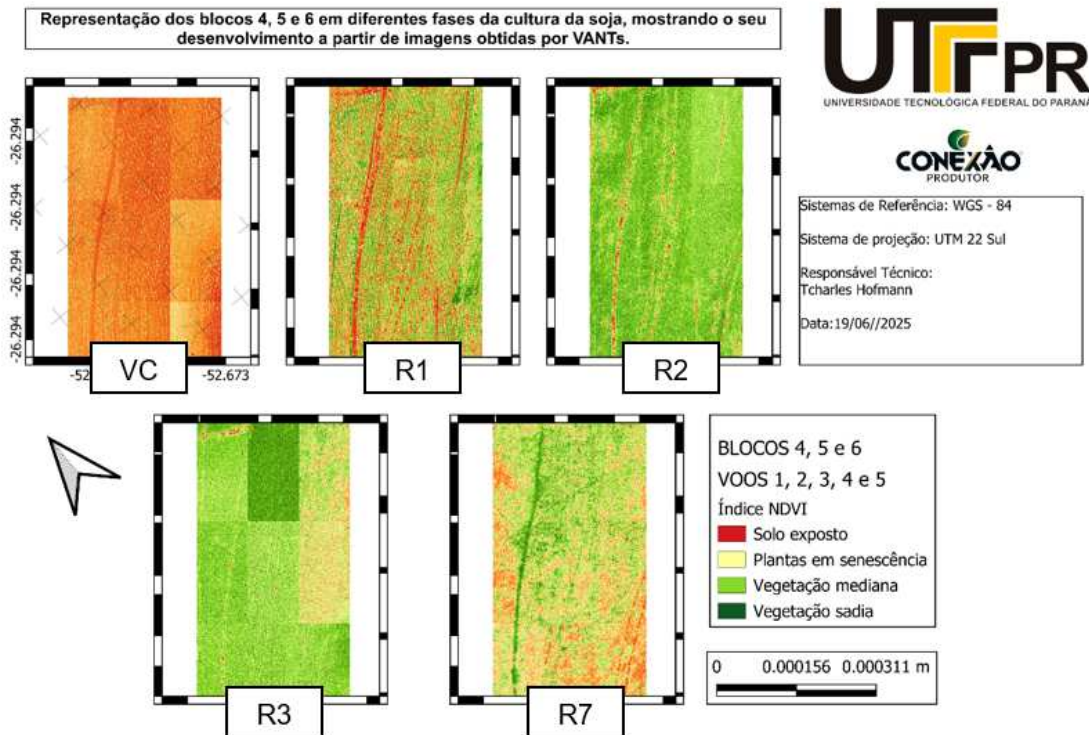
Todas as análises estatísticas foram conduzidas por meio do software GENES (Cruz, 2013).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos permitem compreender de forma integrada o efeito das diferentes plantas de cobertura sobre o desenvolvimento e o rendimento de grãos da soja. Embora em algumas variáveis não tenham sido observadas diferenças estatísticas entre os tratamentos, as tendências identificadas ajudam a interpretar a dinâmica do sistema produtivo e apontam alternativas interessantes para o manejo do solo no inverno.

As imagens de NDVI obtidas ao longo dos cinco voos (Figuras 8 e 9) evidenciam a evolução da soja desde a emergência, quando predominaram áreas de solo exposto, até o fechamento do dossel, caracterizado pelo aumento progressivo da vegetação sadia.

**Figura 8 – Análise do vigor vegetativo da soja por meio de NDVI em diferentes períodos do ciclo produtivo, safra 2024/25**

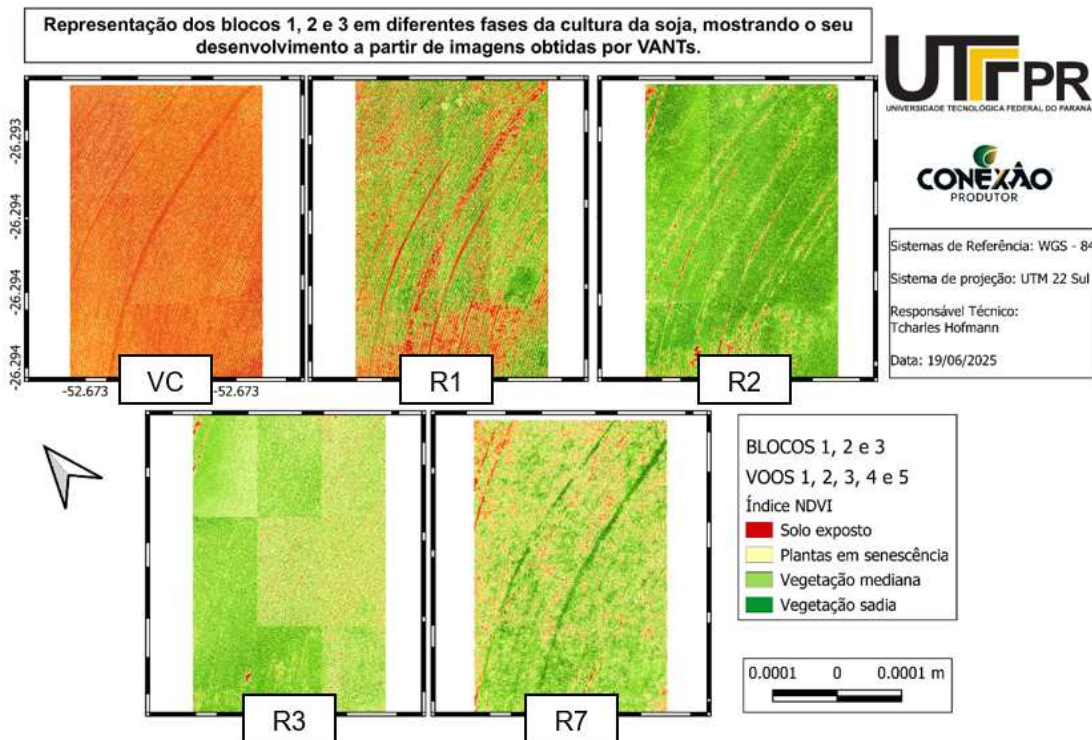


Fonte: Autoria Própria (2025).

Fonte: Autoria própria, (2025).

Assim como observado por Fernandes *et al.* (2025), a utilização de índices espectrais, como o NDVI, permite estimar o vigor vegetativo da cultura e identificar áreas com possíveis deficiências nutricionais ou estresses ambientais ao longo do ciclo da soja. Observa-se que, nos primeiros voos o NDVI apresentou valores reduzidos devido à baixa cobertura foliar, enquanto nos voos intermediários houve incremento gradual do índice, acompanhando o desenvolvimento vegetativo da cultura.

**Figura 9 – Análise do vigor vegetativo da soja por meio de NDVI em diferentes períodos do ciclo produtivo, safra 2024/25**



Fonte: Autoria própria (2025).

De forma análoga, a variação dos valores de NDVI observada entre os blocos pode estar associada ao efeito residual da adubação e à disponibilidade de nutrientes no solo, conforme observado por Fernandes *et al.* (2025) para o milho.

No último voo (Figura 8 e 9), a diminuição dos valores de NDVI nas fases mais avançadas do ciclo da soja podem estar relacionadas ao processo natural de senescência foliar, conforme também relatado por Fernandes *et al.* (2025) para a cultura do milho. Esse comportamento está de acordo com o reportado por Sampaio (2020), que destacam a eficiência do NDVI em estádios iniciais, mas sua limitação em fases avançadas. Safanelli (2014) ressaltam que a utilização de índices alternativos, como o SAVI, pode complementar essa análise.

#### 4.1 Produção de biomassa das culturas de coberturas e estande inicial da soja

A produção de matéria seca (MS) das coberturas do solo de inverno não diferiu significativamente entre os tratamentos (Tabela 1). Isso indica que tanto a aveia preta quanto os mixes apresentaram boa adaptação às condições locais. Apesar disso, o estande inicial (EI) e a população inicial de plantas de soja (POPIN) mostraram diferenças significativas.

A palhada de aveia preta IPR 61 não promoveu diferenças significativas na emergência inicial da soja em comparação ao Mix Rx 330, indicando que as condições de estabelecimento foram semelhantes entre essas coberturas do solo (Tabela 2). Por outro lado, a soja cultivada

sobre a palhada de aveia preta IPR 61 apresentou maior emergência inicial de plantas em relação ao Mix Rx 610.

Os menores valores de emergência inicial (EI) e de população inicial de plântulas (POPIN) de soja cultivadas sobre o Mix Rx 610 em relação a aveia preta IPR 61 (Tabela 2), possivelmente estão relacionados à maior densidade e diversidade de espécies presentes no consórcio, que pode ter aumentado a competição por recursos e retardado a decomposição dos resíduos vegetais. Esse comportamento está relacionado à relação C/N, que influencia diretamente a taxa de mineralização e a liberação de nutrientes.

**Tabela 1 – Resumo da análise de variância para as variáveis Matéria seca ao final do ciclo das culturas de cobertura (MS, kg ha<sup>-1</sup>), Estande Inicial de plantas de soja (EI, plantas m<sup>-1</sup>), População Inicial de plantas (POPIN, plantas ha<sup>-1</sup>), IAF-R2 de soja (Índice de Área Foliar no estágio R2) e IAF-R3 de soja (Índice de Área Foliar no estágio R3), em experimento conduzido no delineamento em blocos ao acaso com três tratamentos (culturas de cobertura de inverno: Aveia preta IPR 61, Mix Rx 330 e Mix Rx 610) e seis repetições. Vitorino, 2024/2025**

Causas de variação	GL	MS	EI	POPIN	IAF-R2	IAF-R3 <sup>2</sup>
Blocos	5	202488,8889 <sup>ns</sup>	0,4537 <sup>ns</sup>	224046730,6984 <sup>ns</sup>	0,3129 <sup>ns</sup>	0,0065 <sup>ns</sup>
Tratamentos	2	2027488,8889 <sup>ns</sup>	2,1076*	1040788511,7728*	0,3524 <sup>ns</sup>	0,0035 <sup>ns</sup>
Resíduo	10	622288,8889	0,3975	196269508,4801	0,1407	0,0055
Média	-	5457,78	12,53	278392,28	4,46	4,99
CV (%) <sup>1</sup>	-	14,45	5,03	5,03	8,40	10,77

\*Significativo em nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F. ns: Não significativo em nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

<sup>1</sup>Coefficiente de variação. <sup>2</sup>Transformada com  $Y_{ij}^* = \log(Y_{ij})$ , em que  $Y_{ij}$  é o valor da variável resposta observado na unidade experimental que recebeu o tratamento  $i$  na repetição  $j$ .

Fonte: Bortolli (2025).

**Tabela 2 – Médias das variáveis Matéria seca ao final do ciclo das culturas de cobertura (MS, em kg ha<sup>-1</sup>), Estande Inicial de plantas de soja (EI, plantas m<sup>-1</sup>), População Inicial de plantas (POPIN, em plantas ha<sup>-1</sup>), IAF-R2 de soja (Índice de Área Foliar no estágio R2) e IAF-R3 de soja (Índice de Área Foliar no estágio R3), em experimento conduzido no delineamento em blocos ao acaso com três tratamentos (culturas de cobertura de inverno: Aveia preta IPR 61, Mix Rx 330 e Mix Rx 610) e seis repetições. Vitorino, 2024/2025.**

Coberturas do solo	MS (kg ha <sup>-1</sup> )	EI (plantas m <sup>-1</sup> )	POPIN (plantas ha <sup>-1</sup> )	IAF-R2	IAF-R3
Aveia IPR 61	4913,33 a	12,93 a	287342,81 a	4,25 a	4,86 a
Mix Rx 610	5390,00 a	11,85 b	263268,97 b	4,41 a	4,79 a
Mix Rx 330	6070,00 a	12,81 ab	284565,06 ab	4,73 a	5,32 a

\*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste de Tukey.

<sup>1</sup>Transformada com  $Y_{ij}^* = \ln(Y_{ij})$ , em que  $Y_{ij}$  é o valor da variável resposta observado na unidade experimental que recebeu o tratamento  $i$  na repetição  $j$ .

Fonte: Bortolli (2025)

Embora gramíneas, como a aveia, também apresentem relação C/N relativamente elevada, a espécie IPR 61 possui boa capacidade de decomposição e formação de palhada com equilíbrio entre carbono e nitrogênio, favorecendo a conservação da umidade e o aquecimento do solo, o que contribui para uma emergência mais uniforme da soja (Idr, 2021). Por outro lado, misturas complexas de espécies (como o Mix Rx 610) podem gerar resíduos mais heterogêneos e com maior teor de lignina, o que retarda a liberação de N nos estádios iniciais, conforme observado por (Dhima *et al.*, 2007) e relatado por (Crusciol *et al.*, 2015). Ainda assim, essa diferença inicial não comprometeu os estádios posteriores, o que reforça a resiliência da soja ao longo do ciclo.

#### 4.2 Índice de área foliar (IAF) e desenvolvimento do dossel

Nos estádios R2 e R3, o índice de área foliar (IAF) não apresentou diferenças significativas entre tratamentos (Tabela 1). Em média, os valores ficaram entre 4,25 e 5,32, faixa considerada adequada para garantir interceptação eficiente da radiação fotossinteticamente ativa e maximizar o processo de enchimento de grãos (Taiz, 2017). Resultados semelhantes foram observados em outros estudos com soja, nos quais o IAF máximo variou de 4,0 a 5,6, dependendo da cultivar, da densidade de semeadura e das condições ambientais (Malone; Oliveira; Souza, 2002; Ferreira *et al.*, 2023). Segundo esses autores, valores de IAF acima de 3,5 já são suficientes para interceptar mais de 90% da radiação incidente, sendo a faixa entre 4 e 5 considerada ideal para o pleno desenvolvimento e máximo rendimento da cultura.

Esse comportamento sugere que, independentemente da cobertura do solo utilizada, a soja conseguiu desenvolver um dossel vigoroso e equilibrado. É importante destacar que, na prática agrícola, o equilíbrio do índice de área foliar (IAF) é desejável, uma vez que valores reduzidos limitam a interceptação da radiação solar e, conseqüentemente, a taxa fotossintética, enquanto valores excessivos podem intensificar a respiração e criar microclimas favoráveis à incidência de doenças foliares (Monteith, 1977; Heiffig *et al.*, 2006; Taiz, 2017).

#### 4.3 Estande final, componentes de rendimento e o rendimento de grãos

Os resultados mais expressivos entre os tratamentos foram observados nos componentes de rendimento (Tabela 3). Não houve diferença no estande final de plantas (EF) nem no número de vagens por planta (NVP), mas o número médio de vagens por metro (NMVM) e o rendimento de grãos apresentaram diferenças significativas.

A soja cultivada sobre o Mix Rx 610 destacou-se, alcançando rendimento de 6.123 kg ha<sup>-1</sup> (Tabela 4), superior à média nacional registrada pela CONAB (2023), que gira em torno de 3.500 a 4.000 kg ha<sup>-1</sup>. Além disso, levantamentos municipais e bases oficiais IBGE (2024), Deral (2024) mostram que municípios da região Sudoeste do Paraná normalmente apresentam rendimentos de soja que variam conforme o ano e o município, situando-se tipicamente na faixa de 3.000 a 3.400 Kg ha<sup>-1</sup>, dependendo das condições climáticas e do manejo local.

**Tabela 3 – Resumo da análise de variância para as variáveis Estande Final de plantas de soja (EF, plantas m<sup>-1</sup>), Número Médio de Vagens por metro (NMVM), Número Médio de Vagens por planta (NVP) e Rendimento de grãos (REND, kg ha<sup>-1</sup>) em experimento conduzido no delineamento em blocos ao acaso com três tratamentos (culturas de cobertura de inverno: Aveia preta IPR 61, Mix Rx 330, Mix Rx 610) e seis repetições. Vitorino, 2024/2025.**

Causas de variação	GL	EF <sup>2</sup>	NMVM	NVP	REND
Blocos	5	0,0001 <sup>ns</sup>	3793,0369 <sup>ns</sup>	31,7042 <sup>ns</sup>	554199,3378 <sup>ns</sup>
Tratamentos	2	0,0001 <sup>ns</sup>	11209,6851 <sup>*</sup>	29,9574 <sup>ns</sup>	3869614,2987 <sup>*</sup>
Resíduo	10	0,0001	2671,8335	30,9229	255489,2453
Média	-	10,85	555,89	51,50	5364,67
CV (%) <sup>1</sup>	-	11,91	9,30	10,80	9,42

\*Significativo em nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F. ns: Não significativo em nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste F.

<sup>1</sup>Coeficiente de variação. <sup>2</sup>Transformada com  $Y_{ij}^* = 1/(Y_{ij})$ , em que  $Y_{ij}$  é o valor da variável resposta observado na unidade experimental que recebeu o tratamento  $i$  na repetição  $j$ .

Fonte: Bortolli (2025).

Portanto, os valores médios reportados e para a região Sudoeste do Paraná também são inferiores ao resultado de 6.123 kg ha<sup>-1</sup> observado nesta pesquisa para soja cultivada sobre o Mix Rx 610, reforçando a relevância deste mix como alternativa ao sistema tradicional. Também, esse valor foi estatisticamente maior do que o rendimento de grão da soja cultivada sobre a aveia preta IPR 61 (4.523 kg ha<sup>-1</sup>) (Tabela 4), confirmando o potencial do uso de mixes como alternativa ao sistema tradicional. O Mix Rx 330 apresentou resultado intermediário (5.446 kg ha<sup>-1</sup>), sem diferir dos demais, mas ainda resultou em acréscimo de 20,4% no rendimento de grãos em relação à testemunha.

Esses ganhos de rendimento podem ser explicados pela maior diversidade das espécies presentes nos mixes. Enquanto a aveia se caracteriza por elevada produção de biomassa e cobertura do solo, as leguminosas dos mixes contribuem com a fixação biológica de nitrogênio e o nabo forrageiro promove melhor estruturação do solo e reciclagem de nutrientes (Crusciol *et al.*, 2015; Carvalho; Silveira, 2023). Essa complementaridade favorece a nutrição e o desenvolvimento radicular da soja, refletindo-se em maior número de vagens por metro linear e, conseqüentemente, maior rendimento de grãos.

Resultados semelhantes foram observados por Krenchinski e Cesco Victor José Salomão e Rodrigues (2018), ao relatarem incremento de rendimento da soja em áreas com consórcios de aveia e nabo forrageiro. Além disso, Gimenez *et al.* (2021) observaram que o aumento da cobertura do solo e da fitomassa de plantas de cobertura de outono/inverno contribuiu para melhor desempenho agrônômico da soja em sucessão.

Esses resultados evidenciam que, apesar do uso consolidado da aveia preta como planta de cobertura, os mixes se mostraram mais eficientes, proporcionando maior produtividade da cultura em sucessão, interpretação corroborada por Krenchinski e Cesco Victor José

Salomão e Rodrigues (2018), que observaram que consórcios de aveia com outras espécies, como o nabo-forrageiro, tendem a aumentar o rendimento de grãos da soja em sucessão.

**Tabela 4 – Médias das variáveis Estande Final de plantas de soja (EF, plantas m<sup>-1</sup>), Número Médio de Vagens por metro (NMVM), Número Médio de Vagens por planta (NVP) e Rendimento de grãos (REND, kg ha<sup>-1</sup>) em experimento conduzido no delineamento em blocos ao acaso com três tratamentos (culturas de cobertura de inverno: Aveia preta IPR 61, Mix Rx 330 e Mix Rx 610) e seis repetições. Vitorino, 2024/2025.**

<b>Coberturas do solo</b>	<b>EF (plantas m<sup>-1</sup>)</b>	<b>NMVM</b>	<b>NVP</b>	<b>REND (kg ha<sup>-1</sup>)</b>
Aveia IPR 61	10,50 a	511,78 b	48,95 a	4523,85 b
Mix Rx 610	11,35 a	598,17 a	53,12 a	6123,76 a
Mix Rx 330	10,69 a	557,72 ab	52,43 a	5446,40 a

\*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste de Tukey.

<sup>1</sup>Transformada com  $Y_{ij}^* = 1/(Y_{ij})$ , em que  $Y_{ij}$  é o valor da variável resposta observado na unidade experimental que recebeu o tratamento  $i$  na repetição  $j$ .

Fonte: Bortolli (2025).

Os resultados dos testes de Dunnett (Tabelas 5 e 6), que compararam cada tratamento com a testemunha (Aveia preta IPR 61), demonstraram que, em variáveis como MS e IAF não houve diferença estatística da testemunha com o Mix Rx 330 e nem da testemunha com o Mix Rx 610 (Tabela 5).

No entanto, para EI e POPIN verificou-se maiores valores com uso da testemunha (Aveia IPR 61), a qual não diferiu do Mix Rx 330. Por outro lado, o Mix Rx 610 apresentou menores valores de EI e POPIN e diferiu significativamente da testemunha (Tabela 5).

Essa redução em EI e POPIN pode estar relacionada à maior quantidade e densidade de palhada deixada pelo Mix Rx 610, o que pode ter dificultado a emergência das plântulas. Resultados semelhantes foram descritos por Cordeiro *et al.* (2021), que observaram que pequenas reduções na emergência inicial da soja cultivada após determinadas culturas de coberturas não implicaram em perda de rendimento, devido à plasticidade da cultura em ajustar o número de ramos, vagens e grãos por planta.

Além disso, a elevada produção de biomassa do Mix Rx 610 pode ter contribuído para a melhoria da umidade e da estrutura do solo, além de reduzir a competição com plantas daninhas, fatores que auxiliam na manutenção do rendimento de grãos (Hunter *et al.*, 2019).

Apesar do menor EI e POPIN de plantas de soja cultivadas sobre o Mix Rx 610 (Tabela 5), verifica-se que esses resultados não se refletiram no IAF, nos componentes de rendimento da cultura (NVP e NMVM) e nem no RG da cultura (Tabela 6). Dessa forma, mesmo com menor emergência inicial e população final de plantas, o Mix Rx 610 demonstrou potencial agrônomo semelhante ao sistema tradicional com aveia preta, indicando que o uso de mixes de cobertura pode ser uma alternativa viável de cobertura de inverno aos produtores do Sudoeste do Paraná.

Entretanto, para NMVM verificou-se que a soja cultivada sobre a aveia preta IPR 61 (testemunha) apresentou menor valor, mas não diferiu do Mix Rx 330 (Tabela 6). O Mix Rx 610,

**Tabela 5 – Teste de Dunnett para comparação de médias da cultura de cobertura padrão escolhida pelo produtor (Aveia preta IPR 61) versus os Mix Rx 330 e Mix Rx 610 para as variáveis Matéria seca ao final do ciclo das culturas de cobertura (MS, em kg ha<sup>-1</sup>), Estande Inicial de plantas de soja (EI, plantas m<sup>-1</sup>), População Inicial de plantas (POPIN, em plantas ha<sup>-1</sup>), IAF-R2 de soja (Índice de Área Foliar no estágio R2) e IAF-R3 de soja (Índice de Área Foliar no estágio R3), em experimento conduzido no delineamento em blocos ao acaso com três tratamentos (culturas de cobertura de inverno: Aveia preta IPR 61, Mix Rx 330 e Mix Rx 610) e seis repetições. Vitorino, 2024/2025.**

Coberturas do solo	MS (kg ha <sup>-1</sup> )	EI (plantas m <sup>-1</sup> )	POPIN (plantas ha <sup>-1</sup> )	IAF-R2	IAF-R3
Mix Rx 330	6070,00 a*	12,81 a	284565,06 a	4,73 a	5,32 a
Mix Rx 610	5390,00 a	11,85	263268,97	4,41 a	4,79 a
Aveia IPR 61	4913,33 a	12,93 a	287342,81 a	4,25 a	4,86 a

\*Médias seguidas pela letra “a” não diferem da testemunha (Aveia preta IPR 61), em nível de 5% de probabilidade de erro, pelo teste de Dunnett.

<sup>1</sup>Transformada com  $Y_{ij}^* = \ln(Y_{ij})$ , em que  $Y_{ij}$  é o valor da variável resposta observado na unidade experimental que recebeu o tratamento  $i$  na repetição  $j$ .

Fonte: Bortolli (2025).

por sua vez, proporcionou o maior valor de NMVM, diferindo significativamente da testemunha ( $\alpha = 5\%$ ).

**Tabela 6 – Teste de Dunnett para comparação de médias da cultura de cobertura padrão escolhida pelo produtor (Aveia preta IPR 61) versus os Mix Rx 330 e Mix Rx 610 para as variáveis Estande Final de plantas de soja (EF, plantas m<sup>-1</sup>), Número Médio de Vagens por metro (NMVM), Número Médio de Vagens por planta (NVP) e Rendimento de grãos (RG, kg ha<sup>-1</sup>) em experimento conduzido no delineamento em blocos ao acaso com três tratamentos (culturas de cobertura de inverno: Aveia preta IPR 61, Mix Rx 330 e Mix Rx 610) e seis repetições. Vitorino, 2024/2025.**

Coberturas do solo	EF (plantas m <sup>-1</sup> )	NMVM	NVP	RG (kg ha <sup>-1</sup> )
Mix Rx 330	10,69 a*	557,72 a	52,43 a	5446,40
Mix Rx 610	11,35 a	598,17	53,12 a	6123,76
Aveia IPR 61	10,50 a	511,78 a	48,95 a	4523,85 a

\*Médias seguidas pela letra “a” não diferem da testemunha (Aveia preta IPR 61), em nível de 5% de probabilidade de erro, pelo teste de Dunnett.

<sup>1</sup>Transformada com  $Y_{ij}^* = 1/(Y_{ij})$ , em que  $Y_{ij}$  é o valor da variável resposta observado na unidade experimental que recebeu o tratamento  $i$  na repetição  $j$ .

Fonte: Bortolli (2025).

Esse comportamento é coerente com estudos de Teixeira, Loss e Pereira Marcos Gervasio e Pimentel (2011), que destacam que espécies com menor relação C/N, como leguminosas presentes nos mixes, apresentam decomposição mais rápida, promovendo maior mineralização de nitrogênio e, conseqüentemente, favorecendo os componentes produtivos da soja.

Esses resultados indicam que a diversidade de espécies presentes no Mix Rx 610 pode ter favorecido a estruturação do solo e a disponibilidade de nutrientes, refletindo positivamente na formação de vagens. Resultados semelhantes foram observados por Crusciol *et al.* (2015) e

Torres *et al.* (2020), que destacam o papel dos sistemas de cobertura diversificados no aumento da eficiência nutricional e na melhoria das condições físicas do solo, favorecendo o desenvolvimento reprodutivo da soja.

Em relação ao rendimento de grãos, tanto o Mix Rx 610, quanto o Mix Rx 330 diferiram significativamente da Aveia preta IPR 61 (Tabela 6). Apresentaram valores superiores à testemunha, confirmando o potencial dos mixes de cobertura em promover maior rendimento de grãos da cultura (Tabela 6). Estudos como os de Santos *et al.* (2014) e Cordeiro *et al.* (2021) corroboram esses resultados, demonstrando que o uso de plantas de cobertura em consórcio, especialmente aquelas que incluem leguminosas, melhora o balanço de nitrogênio e a ciclagem de nutrientes, promovendo aumentos expressivos no rendimento de grãos da soja.

Esse resultado é de grande relevância prática, pois a aveia ainda é a espécie mais utilizada por produtores da região, muitas vezes por tradição ou menor custo de aquisição de sementes.

É importante alertar o produtor rural de que, com base nos resultados deste estudo, apesar do custo mais elevado das sementes dos mixes RX-610 e RX-330 (R\$ 10,00 kg<sup>-1</sup>) em comparação à Aveia preta IPR 61 (R\$ 3,00 kg<sup>-1</sup>), a diferença de investimento por hectare é menor do que normalmente se supõe, devido à menor taxa de semeadura dos mixes. Considerando as quantidades utilizadas no experimento, o custo por hectare é de R\$ 210,00 para aveia (70 kg × R\$ 3,00) e R\$ 400,00 para os mixes (40 kg × R 10,00), representando um acréscimo de R\$ 190,00 ha<sup>-1</sup> para implantação dos sistemas com mixes de plantas de cobertura.

Quando esse custo adicional é confrontado com as perdas no rendimento de grãos da soja observadas em cultivo sobre aveia preta, torna-se evidente que o uso dos mixes oferece retorno econômico superior. Para a soja cultivada sobre o Mix RX-610, o ganho de 26,67 sacas ha<sup>-1</sup> representa um incremento bruto de R\$ 3.333,75 ha<sup>-1</sup> (26,67 sacas ha<sup>-1</sup> × 125 R\$ saca<sup>-1</sup>; preço de 25/11/2026 em Pato Branco, PR); enquanto o cultivo sobre o Mix RX-330 proporciona R\$ 1.922,50 ha<sup>-1</sup> (15,38 sacas ha<sup>-1</sup> × 125 R\$ saca<sup>-1</sup>) em relação à aveia. Mesmo após descontar o custo adicional das sementes (R\$ 190,00 ha<sup>-1</sup>), o produtor ainda obtém um saldo líquido positivo de R\$ 3.143,75 ha<sup>-1</sup> com o Mix RX-610 e R\$ 1732,50 ha<sup>-1</sup> com o Mix RX-330.

Portanto, a relação custo-benefício demonstra que, mesmo com maior investimento inicial em sementes, o uso dos mixes de plantas de cobertura é economicamente vantajoso, assegurando maior retorno financeiro e reduzindo substancialmente o risco de perdas decorrentes do menor rendimento de grãos associado ao cultivo de soja sobre aveia preta IPR 61.

Esses resultados reforçam a importância da escolha criteriosa das espécies de cobertura, especialmente daquelas formadas por misturas equilibradas de gramíneas e leguminosas, como estratégia para elevar a eficiência do sistema produtivo e a rentabilidade da cultura da soja.

## 5 CONCLUSÕES

As imagens de sensoriamento remoto revelaram diferenças de coloração e vigor entre tratamentos, e o NDVI refletiu essas variações, demonstrando sensibilidade para detectar diferenças fisiológicas não evidenciadas pelos parâmetros agronômicos tradicionais.

As plantas de cobertura de inverno não influenciaram significativamente o estande inicial e final, o índice de área foliar e o desenvolvimento vegetativo da soja.

Os mixes de cobertura proporcionaram maior rendimento de grãos da soja em comparação à soja cultivada sobre Aveia Preta IPR 61.

## REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, F. M. d. Universidade Federal de Goiás / INPE **Monitoramento de áreas queimadas no bioma Cerrado a partir de dados MODIS MCD45A1**, . 2010. Manuscrito / Relatório técnico. Disponível em: [https://dataserver-coids.inpe.br/queimadas/queimadas/Publicacoes-Impacto/material3os/2010\\_Araujo\\_Cerrado\\_DadosMCD45A1\\_MSC\\_UFG\\_DE3os.pdf](https://dataserver-coids.inpe.br/queimadas/queimadas/Publicacoes-Impacto/material3os/2010_Araujo_Cerrado_DadosMCD45A1_MSC_UFG_DE3os.pdf). Acesso em: 08 nov. 2024.
- BORTOLLI, B. B. d. **Currículo Lattes de Betania Brum de Bortolli**, . 2025. <https://buscatextual.cnpq.br/buscatextual/visualizacv.do?id=K4732419P0>. Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Disponível em: <https://buscatextual.cnpq.br/buscatextual/visualizacv.do?id=K4732419P0>. Acesso em: 28 out. 2025.
- CARVALHO, M. d. C. S. d.; SILVEIRA, P. M. d. **Adubação**, . 2023. Embrapa — Agência de Informação Tecnológica. Cultivos / Feijão / Produção. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/feijao/producao/adubacao>. Acesso em: 20 nov. 2024.
- CARVALHO, M. L. **Guia prático de plantas de cobertura: espécies, manejo e impacto na saúde do solo**. [S.l.]: Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2024. Disponível em: <https://www.livrosabertos.abcd.usp.br/portaldelivrosUSP/catalog/book/1340>. Acesso em: 02 nov. 2024.
- CERETTA, C. A.; AITA, C. *Biologia do solo*, . Brasil,, 2008. Disponível em: [https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/16159/Curso\\_Agric-Famil-Sustent\\_Biologia-Solo.pdf](https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/16159/Curso_Agric-Famil-Sustent_Biologia-Solo.pdf). Acesso em: 20 maio 2025.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**, . 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-graos>. Acesso em: 28 out. 2025.
- CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos - safra 2024/25**, . 2025. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras>. Acesso em: 28 out. 2025.
- CORDEIRO, C. F. d. S. *et al.* Cover crop increases soybean yield cropped after degraded pasture in sandy soil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, *FapUNIFESP (SciELO)* v. 25, n. 8, p. 514–521, 2021. ISSN 1415-4366. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/wKFMxLv4KP9HYXYqbXx4GNK/?lang=en>. Acesso em: 22 nov. 2024.
- CRUSCIOL, C. A. C. *et al.* **Green manure species and their effects on the soil chemical properties and on soybean yield**, . 2015. 190–200 p. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/TZYyF6pdnkG2LUb0l8duZgf/>. Acesso em: 12 nov. 2024.
- CRUZ, C. D. Genes - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Universidade Estadual de Maringá v. 35, n. 3,, jul. 2013. ISSN 1679-9275. Disponível em: <https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciAgron/article/view/21251>. Acesso em: 02 nov. 2024.
- DERAL. **Produção de soja no Paraná deve atingir 22,3 milhões de toneladas na safra 2024/25, diz Deral**, . 2024. Agência Estado / UOL. Disponível em: <https://noticias.uol.com.br/ultimas-noticias/agencia-estado/2024/08/29/producao-de-soja-no-pr-deve-atingir-223-milhoes-de-t-na-safra-202425-diz-deral.htm>. Acesso em: 12 out. 2025.

DHIMA, K. V. *et al.* Competition indices of common vetch and cereal intercrops in two seeding ratio. **Field Crops Research**, Elsevier BV v. 100, n. 2–3, p. 249–256, fev. 2007. ISSN 0378-4290. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378429006001547>. Acesso em: 12 set. 2024.

DUDA, G. P. *et al.* Perennial herbaceous legumes as live soil mulches and their effects on c, n and p of the microbial biomass. **Scientia Agricola**, FapUNIFESP (SciELO) v. 60, n. 1, p. 139–147, fev. 2003. ISSN 0103-9016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sa/a/4LX4nYRZq63HNxgbMTqs4qC/?lang=en>. Acesso em: 5 nov. 2024.

EMBRAPA. **500 Perguntas 500 Respostas – Soja: O produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF: Embrapa Soja, 2019. 274 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1118408/2/500PERGUNTASSojaed012019.pdf>. Acesso em: 28 out. 2025.

EMBRAPA. Embrapa Soja **Adubação nitrogenada na cultura da soja**. Londrina: , 2008. 4 p. (Comunicado Técnico, 75). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/460181/1/comTec075.pdf>. Acesso em: 28 out. 2025.

EMBRAPA. **Produção e área plantada de soja no Brasil - Safra 2024/25**, . 2025. Disponível em: <https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>. Acesso em: 28 out. 2025.

ESALQ/USP. **Guia Prático de Plantas de Cobertura**. Piracicaba, SP: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo, 2021. Disponível em: <https://www.esalq.usp.br/>. Acesso em: 24 jun. 2025.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of Soybean Development**. Ames, Iowa, USA: Iowa State University of Science and Technology, 1977. 11 p. (Special Report 80). Disponível em: <https://lib.dr.iastate.edu/specialreports/80>. Acesso em: 18 nov. 2024.

FERNANDES, S. C. *et al.* **Vegetation indices generated by Unmanned Aerial Vehicles, for nutritional diagnosis of nitrogen in a corn crop**, . 2025. UTFPR Experimental Area, Pato Branco, Brazil. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/31177>. Acesso em: 15 out. 2025.

FERREIRA, A. *et al.* **Leaf area index and light interception relationship with seed yield of indeterminate soybean cultivars under reduced seeding rates**, . 2023. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/368759131\\_Leaf\\_area\\_index\\_and\\_light\\_interception\\_relationship\\_with\\_seed\\_yield\\_of\\_indeterminate\\_soybean\\_cultivars\\_under\\_reduced\\_seeding\\_rates](https://www.researchgate.net/publication/368759131_Leaf_area_index_and_light_interception_relationship_with_seed_yield_of_indeterminate_soybean_cultivars_under_reduced_seeding_rates). Acesso em: 20 set. 2024.

FILHO, O. F. de L. **Adubação verde e plantas de cobertura no brasil: fundamentos e prática**, ,,. 2014. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1153241>. Acesso em: 15 nov. 2024.

FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P. dos; UERGS, R. S. F. **Forrageiras para integração lavoura-pecuária-floresta na região sul-brasileira**, . Passo Fundo: Embrapa Trigo,, 2012. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1010247/1/LV2012forrageirasparaintegracaoFontaneli.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2024.

FREITAS, M. d. C. M. A cultura da soja no brasil: o crescimento da produção brasileira e o surgimento de uma nova fronteira agrícola. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer Goiânia v. 7, n. 12, p. 1–15, 2011. Disponível em: <https://www.conhecer.org.br/enciclop/2011a/agrarias/a%20cultura%20da%20soja.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2024.

GIMENEZ, G. S. *et al.* Evolution of soil cover and dry shoot phytomass accumulation of autumn/winter cover crops and its effect on the agronomic performance of soybean

grown in succession. **Research, Society and Development**, Research, Society and Development v. 10, n. 4, p. e3310413797, mar. 2021. ISSN 2525-3409. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/13797>. Acesso em: 12 nov. 2024.

GITELSON, A. A. *et al.* An evaluation of modis 250-m data for green lai estimation in crops. **Geophysical Research Letters**, American Geophysical Union (AGU) v. 34, n. 20, out. 2007. ISSN 1944-8007. Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2007gl031620>. Acesso em: 27 nov. 2024.

HEIFFIG, L. S. *et al.* Fechamento e índice de área foliar da cultura da soja em diferentes arranjos espaciais. **Bragantia**, FapUNIFESP (SciELO) v. 65, n. 2, p. 285–295, 2006. ISSN 0006-8705. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/brag/a/dmm8YMQwtMp5FgdkpzbNQtb/?lang=pt>. Acesso em: 02 set. 2024.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; ARAÚJO, R. S. Importância da fixação biológica de nitrogênio e da inoculação para a cultura da soja no Brasil: avanços, desafios e perspectivas. **Revista de Política Agrícola**, v. 29, n. 4, p. 111–128, 2020. Disponível em: <https://www.fauconsultoria.com/post/a-importancia-da-fixacao-ao-biologica-de-nitrogenio-fbn>. Acesso em: 08 nov. 2024.

HUNTER, M. C. *et al.* Cover crop mixture effects on maize, soybean, and wheat yield in rotation. **Agricultural Environmental Letters**, Wiley v. 4, n. 1, jan. 2019. ISSN 2471-9625. Disponível em: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2134/ael2018.10.0051>. Acesso em: 26 nov. 2024.

IBGE. **Pesquisa Agrícola Municipal (PAM) – Produção de soja por municípios do Paraná (2023)**. Rio de Janeiro, 2024. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1612>. Acesso em: 12 out. 2025.

IDR. **Aveia Preta Forrageira IAPAR 61 Ibiporã: Indicações de Semeadura, Produção de Forragem e Cobertura de Solo**. Londrina, PR, Brasil, 2021. Folder Técnico. Disponível em: <https://www.idrparana.pr.gov.br/system/files/publico/pesquisa/publicacoes/folder/fld-iapar-61/Folder%20Aveia%20IAPAR%2061%20Ibipora.pdf>. Acesso em: 27 jan. 2025.

KRENCHINSKI, F. H.; CESCO VICTOR JOSÉ SALOMÃO E RODRIGUES, D. M. e. A. L. P. e. W. K. S. e. A. A. J. P. Agronomic performance of soybean grown in succession to winter cover crops. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, FapUNIFESP (SciELO) v. 53, n. 8, p. 909–917, ago. 2018. ISSN 0100-204X. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/pXMchQGhjBz76wddHhw4p3z/?lang=en>. Acesso em: 26 out. 2024.

MALONE, S.; OLIVEIRA, C. A. M. de; SOUZA, M. A. R. de. Evaluation of the lai2000 plant canopy analyzer to estimate leaf area in manually defoliated soybean. **Field Crops Research**, v. 79, n. 2, p. 179–187, 2002. Disponível em: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2002AgrJ...94.1012M/abstract>. Acesso em: 14 nov. 2024.

MARSCHNER, H. **Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants**. [S.l.]: Academic Press, 2011. Disponível em: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/7077822/mod\\_resource/content/1/LIVROMarschner2012.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/7077822/mod_resource/content/1/LIVROMarschner2012.pdf). Acesso em: 22 nov. 2024.

MONTEITH, J. L. Climate and the efficiency of crop production in Britain. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 281, n. 980, p. 277–294, 1977. Disponível em: <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rstb.1977.0140>. Acesso em: 28 jun. 2025.

- NITSCHKE, P. R.; CARAMORI PAULO HENRIQUE E RICCE, W. d. S. e. P. L. F. D. . **Atlas climático do estado do Paraná**. Londrina, PR: , 2019. Disponível em: <https://www.idrparana.pr.gov.br/Pagina/Atlas-Climatico>. Acesso em: 10 nov. 2024.
- OLIVEIRA, L. D. *et al.* Conhecendo a fenologia do feijoeiro e seus aspectos fitotécnicos, . Brasília, DF: Embrapa,, 2018. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1098515>. Acesso em: 20 nov. 2024.
- PETRY, H. B. *et al.* Adubação com compostos orgânicos e cobertura verde do solo em pomar de tangerineiras sob cultivo orgânico, . *Pesquisa Agropecuária Gaúcha*, v. 18, n. 2, p. 156–166, 2012.,, 2012. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1009605/1/RobertoPedroso14188426538.pdf>. Acesso em: 20 set. 2024.
- PRADO, R. B. e. a. Current overview and potential applications of the soil ecosystem services approach in brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, FapUNIFESP (SciELO) v. 51, n. 9, p. 1021–1038, set. 2016. ISSN 0100-204X. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/dRBxzs5VQ7cTbTbVZznD8m/?lang=en>. Acesso em: 15 nov. 2024.
- QUARTAROLI, C. F. e. a. Sensoriamento remoto. **Embrapa Monitoramento por Satélite - Capítulo em livro técnico-científico (ALICE)**, ,, 2014. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/988056>. Acesso em: 12 nov. 2024.
- RHODEN, A. e. a. A importância da soja para o agronegócio. **Atena Editora**, ,, 2020. Disponível em: <https://atenaeditora.com.br/catalogo/download-post/74908>. Acesso em: 28 out. 2025.
- RICHTER, G. L. *et al.* Estimativa da área de folhas de cultivares antigas e modernas de soja por método não destrutivo. **Bragantia**, FapUNIFESP (SciELO) v. 73, n. 4, p. 416–425, dez. 2014. ISSN 0006-8705. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/brag/a/5t8dfDshhDZFcwQq4rZZ8Cz/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 20 set. 2024.
- SAFANELLI, J. L. e. a. Vegetation indexes and delineation of management zones for soybean. **Precision Agriculture**, v. 18, n. 1, p. 1–19, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pat/a/Hn4CXDzhmyyYFmp3W8Lbvb/?lang=en>. Acesso em: 20 set. 2024.
- SALVIANO, A. M. e. a. Plantas de cobertura em ambiente semiárido: produção de biomassa, adição de carbono e de nutrientes ao solo. **Desarrollo Local Sostenible**, v. 16, n. 43, p. 835–852, 2023. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1156562>. Acesso em: 28 jun. 2025.
- SAMPAIO, H. S. e. a. Comparação entre índices de vegetação obtidos por imagens aéreas com veículo aéreo não tripulado (vant) e satélite. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 14, n. 2, p. 111–124, 2020. Disponível em: <http://seer.tupa.unesp.br/index.php/BIOENG/article/download/888/458>. Acesso em: 06 nov. 2024.
- SANDRIN, F. L. Biomassa, teor de nitrogênio e relação c/n de mixes de plantas de cobertura, ,, 2022. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/31009>. Acesso em: 13 ago. 2024.
- SANTOS, F. C. d. *et al.* Decomposição e liberação de macronutrientes da palhada de milho e braquiária, sob integração lavoura-pecuária no cerrado baiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, FapUNIFESP (SciELO) v. 38, n. 6, p. 1855–1861, dez. 2014. ISSN 0100-0683. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/R53rgDcmMG9ytqwxRcTMbzk/?lang=pt>. Acesso em: 10 set. 2024.

SANTOS, G. A. *et al.* **Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo**. 2. ed. Porto Alegre: Editora Metrópole, 2008. Disponível em: <https://www.scienceopen.com/document?vid=650992ea-2e82-46f9-b5a6-5ac4f68684e2>. Acesso em: 10 set. 2024.

SANTOS, H. G. *et al.* **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018. Disponível em: <http://livimagens.sct.embrapa.br/amostras/00053080.pdf>. Acesso em: 20 out. 2024.

SERVOLO, H. **Rotação de culturas**, . 2025. Engenheiro Agrônomo, Mestre em Fitotecnia e Doutor em Engenharia Florestal pela Esalq/USP. Imagem: reciclagem de nutrientes e adubação verde. Disponível em: <https://blog.mercadorural.org/artigos/rotacao-de-culturas>. Acesso em: 24 out. 2025.

SILVA, A. A. d. e. a. Sistemas de coberturas de solo no inverno e seus efeitos sobre o rendimento de grãos do milho em sucessão. **Ciência Rural**, SciELO Brasil v. 37,, p. 928–935, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/R9VYVwbr8zGNhkfMzT6CXZC/>. Acesso em: 20 nov. 2024.

SOUZA, J. L. e. a. Rendimento de massa de adubos verdes e o impacto na fertilidade do solo em sucessão de cultivos orgânicos. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 6, p. 1796–1805, 2013. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/21931>. Acesso em: 05 nov. 2024.

TAIZ, L. e. a. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. [S.l.]: Artmed Editora, 2017. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=PpO4DQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR1&dq=TAIZ,+L.;+ZEIGER,+E&ots=7SCkvYCPTc&sig=yK9rJRQzkhA1Jf2tuP7DzgEwhWQ#v=onepage&q=TAIZ%2C%20L.%3B%20ZEIGER%2C%20E&f=false>. Acesso em: 20 nov. 2024.

TEIXEIRA, M. B.; LOSS, A.; PEREIRA MARCOS GERVASIO E PIMENTEL, C. Decomposição e liberação de nutrientes da parte aérea de plantas de milheto e sorgo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, SciELO Brasil v. 35,, p. 867–876, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/LKxsZKSLRz9mrfJRNQw7MjK/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 20 nov. 2024.

TIECHER, T.; GUBIANI ELCI E SANTANNA, M. A. e. V. M. G. e. C. A. e. C. L. B. d. S. e. F. M. R. e. C. L. e. R. D. d. S. Effect of 26-years of soil tillage systems and winter cover crops on c and n stocks in a southern brazilian oxisol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Revista Brasileira de Ciência do Solo v. 44,, 2020. ISSN 1806-9657. Disponível em: <https://www.rbcsjournal.org/article/effect-of-26-years-of-soil-tillage-systems-and-winter-cover-crops-on-c-and-n-stocks-in-a-southern-brazilian>. Acesso em: 10 set. 2024.

TORRES, J. L. R. *et al.* Soil attributes and soybean yield as affected by cover crop species and management systems. **Bragantia**, v. 79, n. 2, p. 189–201, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rca/a/VPg9hy4ftGjcxLsxbM3tPmK/?format=html&lang=en>. Acesso em: 20 set. 2024.

TROPICOS. **Glycine max L.**, . 2025. <https://www.tropicos.org/name/13043775>. Disponível em: <https://www.tropicos.org/name/13043775>. Acesso em: 24 ago. 2024.

XUE JINRU E SU, B. Significant remote sensing vegetation indices: A review of developments and applications. **Journal of Sensors**, v. 2017, n. 1, p. 1353691, 2017. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1155/2017/1353691>. Acesso em: 21 nov. 2024.