

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS DO VALE DO RIBEIRA

**COMPONENTES DE PRODUÇÃO DE SOJA E MILHO PARA O
ESTABELECIMENTO DE ZONAS DE MANEJO EM PLANTIO
DIRETO**

TRABALHO ORIGINAL DE PESQUISA

EDUARDA SOARES APOLINÁRIO

Trabalho de Graduação apresentado à
Faculdade de Ciências Agrárias do Vale do
Ribeira - Campus de Registro – UNESP, para
graduação em Engenharia Agrônômica.

REGISTRO - SP

1º Semestre/2025

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS DO VALE DO RIBEIRA

**COMPONENTES DE PRODUÇÃO DE SOJA E MILHO PARA O
ESTABELECIMENTO DE ZONAS DE MANEJO EM PLANTIO
DIRETO**

TRABALHO ORIGINAL DE PESQUISA

EDUARDA SOARES APOLINÁRIO

Orientador: Prof. Dr. Wilson José Oliveira de Souza

Coorientador: Prof. Dr. Danilo Eduardo Rozane

Trabalho de Graduação apresentado à
Faculdade de Ciências Agrárias do Vale do
Ribeira - Campus de Registro – UNESP, para
graduação em Engenharia Agrônômica.

REGISTRO - SP

1º Semestre/2025

A643c

Apolinário, Eduarda Soares

Componentes de produção de soja e milho para o estabelecimento de zonas de manejo em plantio direto / Eduarda Soares Apolinário. -- Registro, 2025

47 p. : il., tabs., fotos

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Agrônômica) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias do Vale do Ribeira, Registro

Orientador: Wilson José Oliveira de Souza

Coorientador: Danilo Eduardo Rozane

1. NDVI. 2. Produção de grãos. 3. Maquinas agrícolas. 4. Agricultura de precisão. I. Título.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Câmpus de Registro



CERTIFICADO

TRABALHO DE GRADUAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA AGRÔNOMICA

TÍTULO: "COMPONENTES DE PRODUÇÃO DE SOJA E MILHO PARA O ESTABELECIMENTO DE ZONAS DE MANEJO EM PLANTIO DIRETO"

ACADÊMICA: Eduarda Soares Apolinário

ORIENTADOR: Prof. Dr. Wilson José Oliveira de Souza

PERÍODO: 9º Semestre 5º Ano

Aprovado: ☒

Reprovado: ☐

BANCA EXAMINADORA:

Presidente Prof. Dr. Wilson José Oliveira de Souza

Documento assinado digitalmente
gov.br WILSON JOSÉ OLIVEIRA DE SOUZA
Data: 17/06/2025 12:54:26-8306
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Membro Prof. Assoc. Danilo Eduardo Rozane

Documento assinado digitalmente
gov.br DANILO EDUARDO ROZANE
Data: 17/06/2025 14:50:59-8306
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Membro Prof. Dr. Heitor Marcel da Silva Ribeiro

Documento assinado digitalmente
gov.br HEITOR MARCEL DA SILVA RIBEIRO
Data: 17/06/2025 13:05:40-8306
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Registro, 26 / 06 / 2025

DEDICATÓRIA

Aos meus avós, a minha família que há mais de 4 gerações vive da agricultura e a todos os agricultores deste país, que garantem os alimentos na mesa dos brasileiros, de forma honesta.
Espero com este trabalho contribuir com estes agricultores.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pelo dom da vida e a Nossa Senhora Aparecida, por me amparar, proteger, serem minha base, sempre me guiando na melhor direção a ser seguida.

A minha mãe Viviane Maria Soares e meus avós Pedro Pio Soares e Vanda Maria Soares, pelo apoio incondicional, por nunca medirem esforços em me ajudarem, pela compreensão, e a todo sacrifício feito para me proporcionar todas as condições para que eu alcançasse meus sonhos e chegar até aqui hoje, pela educação, amor, exemplo e todos os princípios para eu me tornar a pessoa que sou.

Ao professor e engenheiro agrônomo Edilberto Francisco Sforsin *in memoria*, por ser inspiração como competência profissional, acreditar em mim, me incentivar a fazer uma faculdade, acima de tudo pelos ensinamentos e carinho dedicado a mim.

Ao meu primo Marco Eugênio Santos, por todo apoio, incentivo desde o início do meu curso técnico, durante a faculdade e até o momento, por acreditar em minha capacidade, me ajudar disponibilizando para realizar a coleta de dados em suas áreas de lavoura, e ser uma pessoa de grande representatividade na minha vida.

Ao meu orientador Prof. Dr. Wilson José Oliveira de Souza, por me incentivar, acreditar em mim e me ajudar a realizar sonhos e chegar a lugares que jamais imaginei, pela atenção e ensinamentos dedicados a mim.

Ao meu coorientador Prof. Dr. Danilo Eduardo Rozane, pela atenção, ensinamentos e disposição para comigo e o trabalho.

Ao professor Heitor Marcel da Silva Ribeiro, pela disposição e atenção para comigo e o trabalho.

Ao engenheiro agrônomo Aislan Aguiar, representando a Yara fertilizantes, pela disposição, atenção e apoio disponibilizando acesso a plataforma AT Farm.

Ao grupo Central máquinas e a profissional Nathalia Rodrigues responsável pelo Connect Room da CASE IH, pela disposição, atenção e auxílio no acesso a plataforma FieldOps.

Aos Prof. Dr. Glaucia Maria Pereira Pavarini e Ronaldo Pavarini, por me auxiliarem, dando apoio, atenção, acreditando em mim, pelos ensinamentos no início da jornada da faculdade, amizade e carinho que levo comigo.

A Prof. Dra. Maria Cândida de Godoy Gasparoto pelo incentivo durante a faculdade, pelo carinho, atenção e disponibilidade me auxiliando quando precisei, e pelos valiosos ensinamentos.

Meus tios Danilo e Pedro pelo apoio e toda ajuda quando precisei, e a todos os meus familiares que me apoiaram e fizeram parte desta jornada, em especial ao meu tio Pedro Eugênio (*in memorian*) por ser um grande incentivador dos meus estudos e por cada conselho valioso que não me deixou desistir.

A minhas amigas e irmãs, Taína Ferreira e Taiza Ferreira, pela amizade, apoio, conselhos, carinho, sendo exemplos de perseverança e dedicação, e por cada momento vivido.

Ao meu amigo Lucas Nastaro Zambianco que foi companheiro de faculdade estando ao meu lado desde os primeiros dias dessa jornada, sendo conselheiro e se tornando um grande irmão, sou grata pela amizade e os bons momentos proporcionados.

Aos meus amigos Isadora Spagliari, Ana Clara Teodoro, João Vitor Nascimento, Allana Novaes, Robert Sangeroti, Maria Fernanda Castro, Murilo Ferreira, João Floriano, Cassiano Murat e os companheiros de república, pela cumplicidade, e os grandes momentos compartilhados.

Ao Laboratório de Diagnose de Solo, Planta e Fisiologia Vegetal, da FCAVR, pelo corpo técnico Cassiano Murat, Marcos Garcia e Prof. Dr. Danilo Rozane por contribuir com a análises laboratoriais.

Aos funcionários Wilson Satoshi Ueno Funaki (*in memorian*) e Odirlei Alves Tavares, agradeço muito pelo apoio, desde o início me ajudaram em tudo que precisei, foram pacientes e pessoas insubstituíveis.

Meus sinceros agradecimentos a todos!

RESUMO

A variabilidade da área produz respostas das plantas, manifestadas no estabelecimento da população final, produção de biomassa e produtividade de grãos, e refletem as condições de solo, associando-as à variabilidade observada. O manejo localizado e emprego de máquinas com aplicações em taxa variável, dependem diretamente da identificação das causas da variabilidade, permitindo que sejam tomadas decisões que levem à otimização no uso de insumos e redução de custos de produção. O trabalho teve como objetivo estudar a variabilidade da área por meio do histórico de produção de quatro safras com vistas ao estabelecimento de zonas de manejo de produção. O trabalho foi desenvolvido no município de Capão Bonito, SP, nas coordenadas geográficas -24.023598052633503, -48.08443430697025, em solo classificado como LVA 35 (Latosolo Vermelho-Amarelo), numa área de 30,3ha. A área foi georreferenciada e foram demarcados 31 pontos em grade regular, que definiram os locais de amostragens. Em cada ponto, componentes de produção de soja e milho de segunda safra, como Estande Final (EF), Produção de biomassa seca de plantas e grãos (MS_{p+g}), Produção de biomassa seca de cobertura do solo (MS_{bi}), Produção de Grãos (PGS) e peso de mil sementes (PMS). Os dados foram submetidos a análise descritiva, análises de variabilidade espacial com técnicas de geoestatística, elaboração dos modelos matemáticos entre distância (h) e semi-variância $[\hat{\gamma}(h)]$ e interpolação por krigagem. As análises descritivas dos dados os valores de PGS de soja ajustaram-se ao modelo exponencial (em 2022/23) e esférico (em 2023/24); a PGS de milho ajustaram-se ao modelo esférico (2023/2024) com Grau de Dependência Espacial Forte ($DE = 14,73$). Para as produções de soja, os graus de DE foram Moderado ($DE = 50,81\%$) em 2022/23 e Forte ($DE = 1,91\%$) 2023/24., O índice NDVI mostrou padrões semelhantes entre as culturas, nos dois anos estudados. Com os dados estudados, EF, PGS e NDVI mostram-se sensíveis à variabilidade da área, podendo indicar sítios específicos com potencial para tratamento individualizado.

Palavras-chave: NDVI, produção de grãos, máquinas agrícolas, agricultura de precisão

ABSTRACT

Area variability produces plant responses, manifested in final population establishment, biomass production, and grain yield, and reflects soil conditions, associating them with observed variability. Localized management and the use of machinery with variable-rate applications depend directly on identifying the causes of variability, enabling decisions that lead to optimized input use and reduced production costs. This study aimed to study area variability through the production history of four harvests with a view to establishing production management zones. The study was carried out in the municipality of Capão Bonito, São Paulo, at geographic coordinates -24.023598052633503, -48.08443430697025, on soil classified as LVA 35 (Red-Yellow Latosol), in an area of 30.3 ha. The area was georeferenced, and 31 points were demarcated in a regular grid, which defined the sampling locations. At each point, second-crop soybean and corn production components, such as Final Stand (FS), Plant and Grain Dry Biomass Production (M_{Sp+g}), Ground Cover Dry Biomass Production (M_{Sbi}), Grain Yield (PGS), and Thousand Seed Weight (PMS), were analyzed. The data were subjected to descriptive analysis, spatial variability analysis using geostatistical techniques, mathematical models were developed between distance (h) and semi-variance [$\hat{\gamma}(h)$], and kriging interpolation. The descriptive analyses of the data showed that soybean PGS values fit the exponential (in 2022/23) and spherical (in 2023/24) models; The corn PGS adjusted to the spherical model (2023/2024) with Strong Degrees of Spatial Dependence (DE = 14.73). For soybean yields, the DE degrees were Moderate (DE = 50.81%) in 2022/23 and Strong (DE = 1.91%) in 2023/24. The NDVI index showed similar patterns among crops in both years studied. Based on the data studied, EF, PGS, and NDVI are sensitive to area variability, potentially indicating specific sites with potential for individualized treatment.

Keywords: NDVI, grain production, agricultural machinery, precision agriculture

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
2. OBJETIVOS.....	11
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
3.1 Cultura da soja	12
3.2 Cultura do milho	12
3.3 Cobertura de solo	13
3.4 Agricultura de precisão	14
3.4.1 NDVI – Índice de Vegetação por diferença normalizada	16
3.5 Zonas de manejo.....	18
3.6 Variedade/Híbridos	19
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	20
4.1 Localização e caracterização da área	20
4.2 Operações agrícolas e tratos culturais.....	21
4.3 Determinação dos parâmetros estudados.....	23
4.3.1 Coletas realizadas de cada safra	23
4.4 Análise estatística dos dados.....	27
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
6. CONCLUSÃO	41
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42

1. INTRODUÇÃO

A produção de cereais hoje é destaque no Brasil e no mundo, sendo a soja (*Glycine max* (L.) Merrill) a oleaginosa destaque como fonte de proteína e óleo vegetal e grande referência em produção do país, seguido do milho (*Zea mays* L.), cereal de grande importância socioeconômica e por sua alta produção têm destaque no seu uso.

Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2024) e a (USDA, 2024) a produção de soja na safra 2024 totalizou 169 milhões de toneladas, sendo cultivada em uma área total de 45,7 milhões de hectares, o estado de São Paulo é responsável por 9 % da produção do país. Já a cultura do milho teve uma produção na segunda safra 2024 de 126 milhões de toneladas, cerca de 12,3% inferior à temporada passada, em uma área de 16.927 milhões de hectares. Sendo o estado de São Paulo responsável por 3% da produção do país. A região do Alto Paranapanema, como cidades destaque Itapeva, Capão Bonito, Itapetininga e Avaré são as principais responsáveis por 21% da produção de soja e milho do estado de São Paulo MARTINS, V. A. et al. (2024).

A cobertura de solo hoje é um dos grandes precursores da conservação do solo e consequentemente as altas produções atingidas no país. Segundo OLIVEIRA et al. (2018), a utilização de culturas de cobertura pode aumentar a produtividade da soja em até 20%, devido à melhoria na estrutura e na saúde do solo.

Os pontos importantes que vem sendo evidenciado nas áreas agrícolas, em relação ao processo produtivo, são a variabilidade de alguns componentes, como tipo de cobertura de solo, tipo de solo e a declividade da área, que juntos influenciam no desenvolvimento da planta e na produção da mesma. SANTI et al. (2016) verificaram que a qualidade na distribuição da palhada durante a colheita interfere na variabilidade da área e pode culminar na maior variabilidade da produção, o que pode levar ou indicar a ocorrência de microrregiões com diferentes potenciais produtivos, definindo zonas de manejo diferenciadas.

A adoção de técnicas de Agricultura de Precisão vem sendo a grande (inflexão no uso de tecnologias) guinada no manejo utilizado e como resultado a quantidade produzida com uniformidade na área total. Segundo SCHWALBERT et al. (2014) estudando a definição de zonas de manejo, utilizaram sobreposição de mapas de produtividades de milho (duas safras), trigo (duas safras), altimetria e condutividade elétrica, e chegaram a três zonas de manejo

(baixa, média e alta produtividade), permitindo tomar decisões mais assertivas no que tange ao uso de insumos.

Diante de tudo exposto, o trabalho fornece dados de subsídio para determinação de zonas de manejo, otimizando recursos técnicos, assim tendo melhoria para os meios de produção de grãos na área estudada.

2. OBJETIVOS

O trabalho teve como objetivo estudar a variabilidade da área por meio do histórico de componentes de produção de quatro safras com vistas ao estabelecimento de zonas de manejo diferenciadas,

Como objetivos específicos, realizou-se estudos da produção de biomassa, estande final, NDVI e produção de grãos de soja e milho e suas interações, além de uso de técnicas de agricultura de precisão, buscando a identificação de possíveis zonas para manejo diferenciado.

A hipótese do trabalho é que a associação dos componentes de produção de três safras são capazes de indicar a existência de zonas diferenciadas na área, passíveis de serem manejadas distintamente com técnicas de agricultura de precisão.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Cultura da soja

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) pertencente à família das Fabaceae, tem sua origem da costa leste da Ásia, de plantas melhoradas geneticamente por cientista da antiga china, a partir de duas espécies de soja selvagem.

A introdução da espécie ocorreu no Brasil em 1882, por meio dos Estados Unidos, na Escola de Agronomia da Bahia. O objetivo inicial era a condução dos primeiros estudos de avaliação de cultivares introduzidas daquele país. O primeiro cultivo de soja em território nacional data de 1914, no município de Santa Rosa, Rio Grande do Sul. Contudo, foi somente a partir da década de 1940 que a cultura adquiriu relevância econômica, com o primeiro registro estatístico nacional em 1941, no Anuário Agrícola do Rio Grande do Sul (EMBRAPA, 2015).

A produção de soja hoje mundialmente tem como líder o Brasil com 169 milhões de toneladas, sendo responsável por 40% da produção mundial, seguido dos Estados Unidos com 113,27 milhões de toneladas, detendo 28% do mercado mundial, segundo (USDA, 2024).

A safra 2024/2025 de soja alcançou um patamar de produção estimada de 166 milhões de toneladas no país, destacando os estados do Mato Grosso com 28%, Paraná com 13%, Goiás e Rio Grande do Sul com 11% e Mato Grosso do Sul com 9%, sendo os principais produtores, segundo (USDA, 2024).

3.2 Cultura do milho

O milho (*Zea mays* L.) pertencente à família das Poaceae, têm sua origem nas Américas e é cultivado nos mais diversos ambientes e climas do planeta (WERLE , apud SCHMITT, 2014).

Segundo (SCHMITT, 2014), cita que em bases de estudo científico a domesticação do milho foi originária do teosinto, ocorrendo à cerca de 8 a 10 mil anos na América Central. Com a alta capacidade de adaptação do milho, o mesmo tornou-se uma das principais culturas cultivadas no mundo hoje, com suas mais de 150 variedades, se destacando pelas cores e formato de grãos.

Por conta de suas características de adaptabilidade e melhor desenvolvimento em clima tropical, o mesmo desempenha altos tetos de produção, levando em consideração suas características, um bom manejo e seu fator genético, sendo de híbridos de alta performance que

estão disponíveis no mercado hoje, além disso, é uma planta C4, sendo extremamente eficiente na conversão de CO₂, apresentando altas taxas de fotossíntese líquida, mesmo em elevados níveis de luz (ALVES, 2007).

O milho desempenha um papel crucial tanto na ciência quanto na economia, principalmente por suas qualidades nutricionais. Seus grãos são versáteis, empregados na alimentação de humanos e animais, e também fornecem insumos para diversas indústrias (SOUZA et al., 2012; TORRES et al., 2014). De fato, a maior parte da produção deste cereal, aproximadamente 70% a 80%, é consumida por animais não ruminantes, como aves e suínos, sendo um componente essencial em suas dietas (ALVES et al., 2015).

A liderança de produção mundial hoje de milho é os Estados Unidos, com um total de 389,67 milhões de toneladas, que detém 31% da produção mundial, seguido da China com 277,2 milhões de toneladas, detendo 24% da produção mundial e o Brasil produzindo 126 milhões de toneladas na última safra, sendo responsável por 10% da produção mundial. No quesito de exportador mundial do cereal, o Brasil ultrapassou os Estados Unidos, sendo responsável por 27% de todo milho comercializado internacionalmente, desempenhando um papel crucial no mercado global de grãos (USDA, 2024).

A produção de milho no país hoje se destaca com a época de semeadura no inverno, entre fevereiro e março, sendo conhecido como milho segunda safra, segundo dados da (USDA, 2024) os estados que se destacam na produção são Mato Grosso com 37% da produção da cultura, Paraná com 13%, Goiás com 11%, Mato Grosso do Sul 10% e São Paulo com 4%.

3.3 Cobertura de solo

Um arranjo populacional teoricamente superior é aquele que garante a equidistância entre as plantas, resultando em uma distribuição homogênea na área. Essa organização otimiza a utilização de recursos essenciais como luz, água e nutrientes (BRACHTVOGEL et al., 2012).

A técnica de semeadura em fileiras duplas é amplamente empregada na agricultura dos Estados Unidos. Esse arranjo permite maior penetração de luz solar e de defensivos agrícolas no interior do dossel vegetal, o que favorece a atividade fotossintética, contribui para a manutenção da sanidade foliar e prolonga a longevidade das folhas situadas nas camadas inferiores da planta. Como resultado, essa prática pode promover o incremento da produtividade de grãos (BRUNS, 2011).

Além da tradicional redução do espaçamento entre linhas, uma alternativa viável de modificação do arranjo das culturas é o sistema de plantio em linhas duplas, também conhecido como “Twin Rows” ou linhas gêmeas. Esse modelo de distribuição busca ampliar o espaçamento entre as plantas na linha de cultivo, sem alterar suas características fenotípicas, com o objetivo de reduzir a competição intraespecífica e, consequentemente, aumentar o rendimento produtivo (BALEN, 2013).

De acordo com SANGOI et al. (2005), o aumento da população de plantas de milho eleva o índice de área foliar. Esse incremento na área foliar, por sua vez, eleva a reflectância da cultura e, consequentemente, o NDVI (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada), o que pode levar à saturação do índice.

Uma premissa fundamental do Sistema Plantio Direto (SPD) é a manutenção contínua do solo com cobertura vegetal, seja por plantas em crescimento ou por resíduos. Essa camada protetora visa proteger o solo do impacto direto das chuvas, do escoamento superficial e das erosões hídrica e eólica (REBELLO & TURETTA, 2017).

Segundo (SÉGUY E BOUNIZAC, 1995), a intenção é simular na agricultura o equilíbrio dinâmico presente na Floresta Amazônica. Nela, a decomposição da matéria orgânica na liteira do solo funciona como um mecanismo que libera nutrientes de forma contínua. Esse fenômeno é análogo ao que se observa no plantio direto, onde a fitomassa da palhada de culturas como sorgo, milho e milheto, conhecidas por seu enraizamento profundo que recicla e reestrutura o solo se decompõe durante o ciclo da soja plantada posteriormente, fornecendo nutrientes progressivamente à cultura.

Segundo (ALVARENGA, 2001) grande parte do êxito desse sistema se deve à cobertura do solo, que consiste em palha de culturas de cobertura e resíduos de culturas comerciais. Essa camada superficial cria um ambiente altamente propício ao crescimento vegetal, além de contribuir para a estabilização da produção e para a recuperação ou manutenção da qualidade do solo.

3.4 Agricultura de precisão

A principal demanda hoje é pelo aperfeiçoamento das áreas de produção onde temos de aumentar a produtividade por área, as tecnologias que o mesmo demanda são a chave para esse aumento. Sendo a principal delas a agricultura de precisão, por meio dela podemos executar diferentes atividades em grid de pontos dentro de uma área, coletando dados em pontos

específicos assim desenvolvendo as zonas de manejo. Segundo a (ISPA, 2024), a agricultura de Precisão é uma estratégia de gestão que reúne, processa e analisa dados temporais, espaciais e individuais de plantas e animais e os combina com outras informações para dar suporte a decisões de gestão de acordo com a variabilidade estimada para melhorar a eficiência do uso de recursos, produtividade, qualidade, lucratividade e sustentabilidade da produção agrícola.

De acordo com (ANTUNIASSI E GADANHA JR., 2000), a agricultura de precisão possibilita a identificação de zonas de manejo específicas dentro das áreas cultivadas, além da elaboração de mapas de prescrição que orientam a aplicação localizada de insumos, com base na variabilidade dos fatores que influenciam a produção.

(MANTOVANI, 2000), conceitua a agricultura de precisão como uma tecnologia avançada voltada ao gerenciamento eficiente do solo, dos insumos e das culturas, levando em consideração as variações espaciais e temporais que interferem na produtividade agrícola.

(PIERCE E NOWAK, 1999), ressaltam que a adoção da agricultura de precisão traz benefícios não apenas ao desempenho das lavouras, mas também à preservação ambiental. Para enfrentar os desafios relacionados às variações espaciais e temporais no campo, é imprescindível a coleta de dados em alta resolução, os quais fornecem subsídios fundamentais para a aplicação eficaz dessa abordagem. A agricultura de precisão envolve um conjunto diversificado de tecnologias, permitindo que os produtores escolham aquelas que melhor atendam às particularidades de suas propriedades e objetivos produtivos (LOWENBERGDEBOER & ERICKSON, 2019).

A agricultura de precisão (AP), originária dos termos em inglês *precision agriculture* ou *precision farming*, compreende um conjunto de estratégias e práticas focadas em otimizar a gestão de áreas agrícolas. Essa abordagem leva em conta as variações espaciais e temporais existentes nas lavouras. Como uma ferramenta de gestão, a AP facilita a coleta massiva de dados e possibilita a aplicação de tratamentos localizados. Consequentemente, a rentabilidade econômica da AP está intrinsecamente ligada à sua correta implementação e à presença de variabilidade dentro da própria lavoura (MOLIN, 2015).

A utilização de instrumentos de agricultura de precisão é fundamental para mitigar perdas na produção agrícola. Com essas ferramentas, é viável coletar informações georreferenciadas de propriedades rurais, segmentadas em pequenas parcelas. Esses dados abrangem desde necessidades de irrigação e propriedades físicas do solo até a aplicação de defensivos. A efetividade dessas informações aumenta proporcionalmente à granularidade da

subdivisão da propriedade, já que um maior detalhamento dos dados permite um controle mais eficiente das variáveis que influenciam o cultivo.

3.4.1 NDVI – Índice de Vegetação por diferença normalizada

Os índices de vegetação são equações matemáticas, elaboradas com base em comprimento de ondas específicos do espectro eletromagnético, os quais são confrontados com parâmetros quantitativos de campo (BARBOSA, 2006).

Para analisar a vegetação, o NDVI é empregado na detecção de fenômenos como a sazonalidade e os estágios fenológicos, a determinação da duração da estação de crescimento, a identificação do pico de biomassa verde e a observação de variações fisiológicas nas folhas (SILVA, 2020). Além disso, valores elevados de NDVI (geralmente entre 0,10 e 1) são indicativos de vegetação vigorosa e saudável, com alta densidade de biomassa verde SILVA et al., (2019).

A Yara desenvolveu uma ferramenta digital voltada ao acompanhamento do desenvolvimento das culturas agrícolas por meio da geração de mapas quinzenais, a ferramenta conhecida como Atfarm, possuem mapas que permitem o monitoramento remoto do estado da biomassa, utilizando o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e o sensor N-Sensor, que fornece informações sobre a concentração de nitrogênio dentro dos talhões previamente delimitados pela plataforma (YARA, 2025).

Os mapas de biomassa são produzidos com base no modelo de crescimento de culturas da Yara, o qual incorpora dados de irradiância e condições meteorológicas, possibilitando extrapolações confiáveis mesmo na ausência de imagens recentes devido à cobertura de nuvens. Esse modelo estima o acúmulo de nitrogênio com base em dados diários de irradiância global, temperatura e umidade, calculando o ganho de matéria seca sob a premissa de um suprimento ideal de nitrogênio (YARA, 2025).

Adicionalmente, o modelo apresenta elevado nível de precisão, com margem de erro inferior a 10 kg de N por hectare na estimativa da absorção de nutrientes. Essa estimativa é baseada na análise de imagens históricas e na exposição à luz solar de áreas específicas (YARA, 2025).

Conforme descrito pela (YARA, 2025), a plataforma Atfarm utiliza imagens obtidas pelos satélites Sentinel-2 A e B, integrantes do programa Copernicus da Agência Espacial Europeia, para gerar mapas de biomassa voltados ao acompanhamento das lavouras. Esses

satélites operam com sensores na faixa do infravermelho, o que possibilita a identificação antecipada de alterações no estado fitossanitário das plantas. As imagens, com alta resolução, garantem um monitoramento contínuo e eficaz.

Segundo (TSOUROS, 2019) os Índices de Vegetação (IVs) estão entre os produtos mais amplamente utilizados em aplicações de sensoriamento remoto voltados à Agricultura de Precisão. Esses índices são obtidos por meio de transformações matemáticas que envolvem, no mínimo, duas bandas espectrais do espectro eletromagnético. Tais transformações são concebidas com o intuito de realçar as características vegetativas e, simultaneamente, reduzir a interferência de elementos externos. Dessa forma, os IVs possibilitam a obtenção de informações espaciais e temporais precisas acerca das culturas agrícolas monitoradas. Com isso frequentemente, diversos índices são gerados e analisados com o propósito de embasar a tomada de decisões. Esses cálculos podem ser realizados com base nas imagens capturadas individualmente ou a partir de ortofotos que representam a área cultivada como um todo. O uso dos IVs contribui para a identificação de atributos relevantes das plantas, incluindo parâmetros biológicos e físicos.

Adicionalmente, os sensores multiespectrais e hiperespectrais têm se destacado como ferramentas promissoras nesse cenário. A utilização de sensores multiespectrais, por exemplo, permite a geração de IVs capazes de diferenciar áreas saudáveis e comprometidas da vegetação. Por meio dessa abordagem, o agricultor é capaz de identificar, com maior precisão, as zonas do campo que demandam intervenção, possibilitando ações corretivas direcionadas e oportunas para preservar a produtividade das lavouras (TSOUROS, 2019).

Embora o NDVI seja um índice de vegetação bem conhecido, outros como o GNDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada Verde) e o NDRE (Borda Vermelha por Diferença Normalizada) oferecem insights adicionais sobre os parâmetros biofísicos das culturas. O GNDVI, por exemplo, tem sido correlacionado com a produtividade do milho em estágios avançados de crescimento (SHANAHAN, 2001), enquanto o NDRE está associado à produtividade do milho no estágio fenológico V6 SHARMA et al., (2015).

Segundo (UEBEL, 2015) estudar a correlação entre as leituras de NDVI e vários parâmetros agronômicos (como rendimento e massa de grãos) e indicadores fitopatológicos (como incidência de doenças, severidade, AUDPC, patologia de sementes e grãos mofados) nos

ajuda a avaliar melhor o estado de saúde das plantações de milho e estimar seu potencial produtivo.

3.5 Zonas de manejo

A definição de zonas de manejo representa um desafio, principalmente em razão da complexa interação entre as características do solo e os atributos da fertilidade do mesmo MOHARANA et al., (2020).

Diferentemente das metodologias convencionais, que se baseiam em suposições generalizadas, os métodos de agrupamento utilizam a análise de dados para identificar zonas de manejo de maneira mais objetiva. Essa estratégia possibilita a detecção de variações sutis ao longo da área cultivada, permitindo a adoção de orientações específicas - como a aplicação direcionada de fertilizantes ou ajustes no manejo SILVA, C. D. O. F, GREGO, CR, MANZIONE, RL et al. (2019).

As investigações no campo da Agricultura de Precisão têm priorizado a delimitação de zonas de manejo com relativa uniformidade dentro das áreas agrícolas, como uma estratégia prática e economicamente viável para a aplicação diferenciada de práticas agronômicas SILVA, C. D. O. F, GREGO, CR, MANZIONE, RL et al. (2019).

A delimitação de zonas de manejo na Agricultura de Precisão (AP) pode ser eficientemente resolvida por meio do agrupamento. Essa técnica visa identificar áreas adjacentes com propriedades semelhantes entre si, mas distintas das demais zonas RUß et al., (2011).

Ao aplicar os métodos de agrupamento, é possível agrupar porções de um campo com atributos comparáveis, como características do solo ou condições de cultivo. Essa técnica facilita a identificação de zonas que apresentam comportamentos semelhantes GAVIOLI et al., (2019).

A adoção da Agricultura de Precisão geralmente segue uma sequência estruturada composta por quatro fases principais: realização de monitoramento detalhado; elaboração e integração de mapas temáticos; organização e aplicação de modelos agronômicos; e utilização localizada e racional de insumos, de acordo com a necessidade específica de cada área, momento e quantidade. A articulação entre essas etapas possibilita a determinação de indicadores produtivos que orientam a escolha do manejo mais adequado ao contexto agrícola (DE OLIVEIRA, 2009).

De acordo com (SANTI, 2007), para que se possa compreender adequadamente a variabilidade na produtividade, é necessário realizar o mapeamento por um período mínimo de três anos.

3.6 Variedade/Híbridos

A pesquisa e desenvolvimento de tecnologias desde a produção de sementes e melhorias no manejo tem a significativa da produção para ser atribuída, pois em grande parte, às mudanças nas práticas de manejo e cultivo. Entre os fatores contribuintes estão a oferta de cultivares de alto rendimento, aprimoramento das condições químicas e físicas do solo, fertilização correta e a readequação do espaçamento entre as plantas (FARINELLI; PENARIOL; FORNASIERI FILHO, 2012). A utilização de materiais genéticos de qualidade se destaca neste ponto.

O híbrido PIONEER P3440PWU possui ciclo produtivo precoce, indicado para segunda safra (safrinha), com alto potencial produtivo de dupla aptidão para grãos e silagem, característica genética Stay green acentuada, ou seja, a planta tem capacidade de manter suas folhas ainda verdes mesmo a espiga estando em estágio de maturação. A tecnologia destaque do mesmo é PowerCore® ULTRA, que incorpora quatro proteínas inseticidas (Cry1F, Cry1A.105, Cry2Ab2 e Vip3Aa20) que auxiliam na proteção das populações suscetíveis dos principais lepidópteros que afetam a cultura do milho (PIONEER, 2024).

O híbrido Feroz Viptera 3 possui ciclo produtivo precoce, indicado com amplitude de semeadura para verão primeira safra e para o inverno segunda safra (safrinha), de dupla aptidão para grãos e silagem, característica genética Viptera 3, contendo tecnologia de auxílio na proteção contra populações suscetíveis dos lepidópteros do milho.

A cultivar de soja Brasmax LANÇA IPRO, possui hábito vegetativo indeterminado, com ciclo aproximado de 119 dias, com alto potencial produtivo, e de ramificação, com característica genética Intacta RR2 PRO, que tem como tecnologia a proteção contra as principais lagartas da cultura da soja, sendo a proteína (Cry1Ac), auxiliando na alta eficiência contra lagartas desfolhadoras. Além disso, possui tolerância à molécula do glifosato.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização e caracterização da área

O experimento foi conduzido no município de Capão Bonito, SP, nas coordenadas geográficas Latitude -24.023598052633503, Longitude -48.08443430697025, com altitude média de 730 m. A área em estudo tem 30,3 hectares, o solo é classificado como LVA 35 (Latossolo Vermelho-Amarelo) segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS (EMBRAPA, 2018), a área é de cultivo de grãos comercial, sendo soja na safra de verão e milho na segunda safra no inverno, por meio da autorização do produtor Marcos Eugenio foi realizado todas as atividades pretendidas.

Foram demarcados 31 pontos georreferenciados com um GPS de navegação modelo Garmin CX 60 com acurácia de 6 m, com distância entre pontos de 100 m seguindo o mapa de grid gerado pelo programa Falker Map cada um dos pontos foi referência para avaliar os componentes de produção.



Figura 1: Croqui com grid de pontos na localização da área. Fonte: Google Earth, 2023.

Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é classificado como Cfa, característico de clima subtropical, com verão quente. As temperaturas são superiores a 22°C

no verão e com mais de 30 mm de chuva no mês mais seco, como pode se observar na figura 2, as mínimas e máximas do município de Capão Bonito.

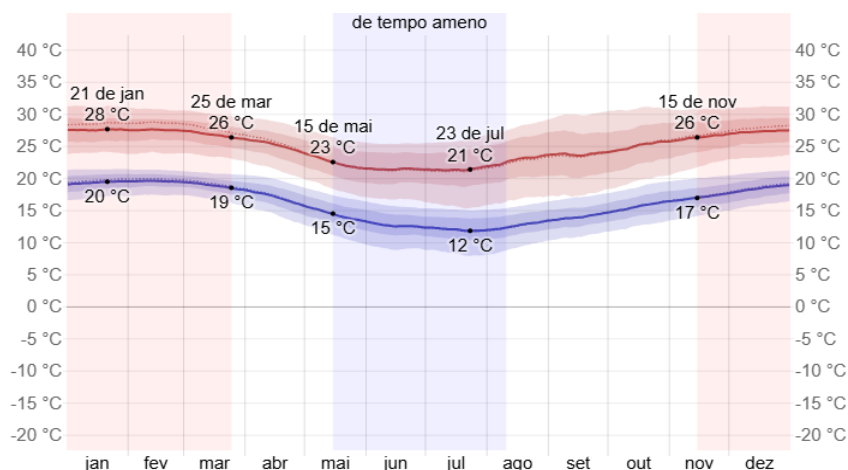


Figura 2. Temperaturas mínimas e máximas durante o ano no município de Capão Bonito, SP. Fonte: WeatherSpark, 2025.

Já na figura 3 pode se observar a precipitação média anual no município.

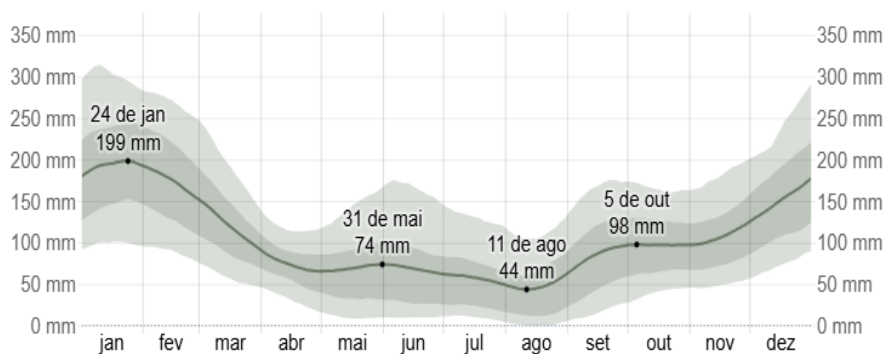


Figura 3. Precipitação média anual no município de Capão Bonito (ano). Fonte: WeatherSpark, 2025.

4.2 Operações agrícolas e tratos culturais

Dados da primeira safra 2022-23

O preparo da área de semeadura foi realizado com aplicação de 850 kg/ha de calcário utilizando um distribuidor tipo Tatu marchesan DCA² com capacidade para 5,5 t, acoplado a um trator Case Maxxum com 110 cv de potência no motor e deslocando-se a uma velocidade média de 10 km h⁻¹. A dessecação da área foi realizada utilizando Finale (2 L ha⁻¹) e Ta 35 (0,5 L ha⁻¹), aplicando-se 80 L ha⁻¹ de calda, 20 dias antes da semeadura da soja. A cultura da soja

foi implantada no dia 07 de outubro, utilizando a variedade 58160 RSF IPRO BMX LANÇA IPRO, inoculada com *Bradyrhizobium japonicum* - ATMO Tradecorp e considerando um espaçamento de 0,45 cm entre linhas e uma população desejada de 250 mil plantas ha⁻¹. A adubação utilizada foi Ilsa Gradual Mix 7-12-16 com 350 kg ha⁻¹. A dessecação foi realizada com 118 dias após a semeadura (DAS), e a colheita foi realizada nos dias 22, 23 e 24 de fevereiro de 2023.

Dados segunda safra 2022-23

A semeadura do milho segunda safra inverno foi realizada com a semeadora Jumil 3060 de 8 linhas, no dia 27 e 28 de fevereiro de 2023, utilizando o híbrido P3440PWU PIONNER, considerando um espaçamento de 0,90 cm por 0,45 cm entre linhas e uma população de 88 mil plantas por ha⁻¹. A adubação utilizada foi Nutrien 08-24-12 com 250 kg ha⁻¹, a dessecação foi realizada utilizando Roundup (2 L ha⁻¹), Atrazina 500 SC (5 L ha⁻¹) e Octane (0,8 L ha⁻¹), com volume de calda de 180 L ha⁻¹. Com 35 dias após a semeadura foi feita a adubação de cobertura com ureia revestida Nutrien, com 300 kg ha⁻¹, sendo que com 53 DAS foi feita a aplicação de nitrogênio líquido Nitro 32 (6 L ha⁻¹). A colheita foi realizada nos dias 20 e 21 de agosto de 2023.

Ao final da segunda safra inverno, foi realizada a subsolagem na área total passando o mesmo somente uma vez e logo em seguida fazendo a gradagem da mesma somente uma vez.

Dados terceira safra (primeira safra 2023-24)

A semeadura foi realizada dia 4 de outubro de 2023 utilizando a semeadora Jumil 3060, e a variedade 58160 RSF IPRO BMX LANÇA IPRO, inoculada com *Bradyrhizobium japonicum* - ATMO Tradecorp e considerando um espaçamento de 0,45 cm entre linhas e uma população desejada de 250 mil plantas ha⁻¹. Adubação utilizada foi 08-24-12 da Fertipar com 350 kg ha⁻¹. A dessecação pós emergente foi realizada com 4 dias após a semeadura (DAS), utilizando Roundup (4 L ha⁻¹), Pacto (47,6 g ha⁻¹), Select 240 EC (0,45 L ha⁻¹) e Vorax (0,50 L ha⁻¹), com um volume de calda de 180 L ha⁻¹. A dessecação foi realizada com 74 dias após a semeadura (DAS). A colheita foi realizada nos dias 28, 29 e 30 de janeiro de 2024.

Dados quarta safra (segunda safra 2023-24)

A semeadura do milho segunda safra inverno foi realizada com a semeadora Jumil 3060 de 8 linhas, no dia 31 de janeiro de 2024, utilizando o híbrido Feroz Viptera 3, considerando um espaçamento de 0,90 cm por 0,45 cm entre linhas com uma população de 88 mil plantas por ha⁻¹. A adubação utilizada foi Fertipar 08-24-12 com 300 kg ha⁻¹. A dessecação foi realizada

utilizando Roundup (2 L ha⁻¹), Atrazina 500 SC (5 L ha⁻¹) e Octane (0,8 L ha⁻¹), com volume de calda de 180 L ha⁻¹. Com 32 DAS foi feita a adubação de cobertura com ureia revestida Nutrien, com 300 kg ha⁻¹. A colheita foi realizada nos dias 24 e 25 de junho de 2024.

4.3 Determinação dos parâmetros estudados

4.3.1 Coletas realizadas de cada safra

NDVI: Os dados de NDVI foram coletados em pontos específicos do ciclo de cada cultura durante a safra com auxílio da ferramenta do Atfarm YARA disponibilizado pelo profissional Aisla responsável pela mesma. Considerou-se a indicação da própria ferramenta, o mapa NDVI é indicado para as previsões iniciais de crescimento quando a biomassa da cultura ainda estiver se desenvolvendo. No entanto, à medida que a dose se fecha e a biomassa aumenta, o NDVI atinge a saturação, tornando mais distinguível entre áreas de alta e baixa biomassa (YARA, 2025). Na cultura da soja e do milho foi realizado essa avaliação no meio do estágio vegetativo, aproximadamente em vegetativo 5 e 6, sendo observado a escala de índice de crescimento, a qual varia de (-1– 0) vegetação sem atividade ou planta morta, (0–0,33) planta não saudável, (0,33–0,66) planta moderadamente saudável, (0,66 – 1) planta muito saudável. Feita a coleta de cada imagem do mapa na ferramenta os mesmos foram georreferenciados podendo assim identificar cada um dos pontos de amostragem e tendo precisão do NDVI naquele ponto amostral. Estes dados identificados foram tabulados e analisados posteriormente.

Estande Final: as determinações para soja foram realizadas nas safras de verão de 2022/2023 e 2023/2024, iniciadas em 20 de fevereiro de 2023 e 24 de janeiro de 2024, respectivamente. Em cada ponto georreferenciado, como demonstrado na figura 4, mediu-se 1 metro de duas linhas de semeadura com as plantas em estágio R8 contabilizando o número de plantas, que foi convertida em número de plantas por metro linear e por hectare. Na cultura do milho, foram realizadas contagens de forma idêntica na segunda safra de 2023 e de 2024, iniciadas em 04 de agosto de 2023 e 15 de junho de 2024 seguindo as mesmas transformações de unidades.

A determinação de estande final, de plantas ha⁻¹, foi calculada utilizando-se a Equação 1.

$$EF = \frac{100}{0,45} \cdot 100 \cdot (EF \text{ pl } m) \quad \text{Equação (1)}$$

Em que: EF – estande final (plantas ha⁻¹);

EF pl m^{-1} – estande final (plantas /metro);



Figura 4: Área de contagem de plantas por metro em cada ponto amostral. Fonte: Autor, 2023.

Determinação de produção de grãos na primeira safra: foi realizado o arranquio das plantas com vagens e as mesmas foram separadas em sacos, e posteriormente encaminhadas para o LAMMEC, onde foram pesadas, obtendo o peso úmido, foram levadas a estufa de secagem com circulação forçada de ar a 60-70° C por 24/48 horas. Permaneceram até sua secagem completa e foram retiradas e realizadas a trilha dessas.

Após este foram separados os grãos, que foram armazenados em sacos de papel devidamente identificado, pesados se obtendo o peso úmido e encaminhados para a estufa de secagem novamente e permaneceram até a secagem total, sendo retiradas e pesadas obtendo o peso seco total dessas. As amostras foram encaminhadas ao LAMMEC, onde foram feitas a contagem e pesagem de mil grãos se obtendo o peso dos mesmos, seguindo para a coleta de Produção de biomassa de cobertura no dia 12 de março de 2023.

Coleta de folhas de soja para a determinação de Nitrogênio

Foi realizado a coleta das folhas da soja na safra verão 2024/2025, no dia 23 de novembro de 2024, no estágio reprodutivo R2 da soja, onde havia a presença de flores simultâneas nas hastes do baixeiro da planta e a partir disso se identificou o terceiro trifólio desenvolvido da parte superior da planta, sendo este coletado. A metodologia utilizada foi de

(Castro, 2021). As amostragens foram feitas em cada um dos 31 pontos do mapa de grid, e em cada um deles foram coletados 7 trifólios de diferentes plantas no raio de cada ponto, como pode ser observado na figura 4. As mesmas foram coletadas e dispostas em sacos de papel devidamente identificados e encaminhadas ao Laboratório de Diagnose de Solo, Planta e Fisiologia Vegetal da Faculdade de Ciências Agrárias do Vale do Ribeira, onde foram analisadas e determinado os teores de Nitrogênio, seguindo a metodologia de BATAGLIA et al. (1983), utilizados como base para as análises e determinação das zonas de manejo.



Figura 5. Coleta de trifólios de soja para análise foliar. Fonte: Autor, 2024.

Produção de Biomassa de Cobertura: após a colheita de cada cultura na safra, foi lançado um quadro de madeira com diâmetro de 0,50m por 0,50m sob a palhada da cultura e foi coletada toda a biomassa contida dentro da área do quadro, considerados na figura 5, o material foi adicionados dentro de sacos de papel devidamente identificados e foram pesados obtendo o peso úmido, estes foram realizados na soja safra 2022/2023 no dia 12 de Março de 2023, para milho segunda safra 2023 no dia 26 de agosto de 2023, e respectivamente para soja safra 2023/2024 no dia 31 de janeiro de 2024, e no milho segunda safra 2024 no dia 08 de julho de 2024, e a partir de cada amostragem, todos foram encaminhados para o LAMMEC (Laboratório de Máquinas e Mecanização Conservacionista), armazenados na estufa de secagem de circulação forçada de ar à 60-70°C, 24/48 horas até a secagem total do material, e em seguida foram retirados e pesados novamente obtendo o peso seco, que foram convertidos em kg por hectare.



Figura 6. Área amostral de biomassa em cada ponto de coleta. Fonte: Autor, 2024.

A estimativa da biomassa de cobertura, em kg por ha⁻¹, foi calculada utilizando-se a Equação 2.

$$MS = \frac{Psa \cdot 10^4}{Aa} \quad \text{Equação (2)}$$

Em que: MS – peso de biomassa seca de cobertura (kg ha⁻¹);

Psa – peso seco da amostra (kg/Aa);

Aa – área do quadro de amostragem (0,25 m² neste trabalho);

Produção de Grãos: Para esta determinação foram coletados os dados de produção, a partir dos mapas de colheita contidos no monitor da máquina colhedora Case/5150/2021, que são fornecidos pelo sistema Field Ops Case. O sistema fornece relatórios de camadas das atividades em que se seleciona as opções a serem requeridas, sendo uma delas a época da realização da atividade e diante disso o mesmo gera este relatório que é baixado contendo dados como peso médio de rendimento de grãos úmidos e rendimento de grãos secos.

A estimativa de produção de grãos em kg por ha⁻¹ foi calculada utilizando-se a Equação 3.

$$PG = \frac{Pgs \times 22222,22}{2} \quad \text{Equação (3)}$$

Em que: PG– produção de grãos (kg ha^{-1});
Pgs – peso de grãos seco (kg ha^{-1});

4.4 Análise estatística dos dados

Os dados foram analisados por estatística descritiva visando verificar a normalidade dos dados (PIMENTEL GOMES & GARCIA, 2002), correlação de Pearson R, equações de regressão e além de aplicação análises de variabilidade espacial com técnicas de geoestatística, elaboração dos modelos matemáticos entre distância (h) e semi-variância [$\hat{\gamma}(h)$] e interpolação por krigagem ordinária (SOARES, 2006). A análise espacial foi efetuada com o auxílio do programa VESPER (Minasny et al., 2005), o qual permite ajustar semivariogramas e modelos matemáticos para krigagem e determinar a dependência espacial e sua intensidade, nas variáveis em estudo.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de análise descritiva para os componentes de produção de soja e milho estão apresentados na Tabela 1. O estande final de plantas (EF) e produção de grãos (PG) no ano agrícola de 2022-2023, tanto de soja como de milho mostraram coeficiente de variação baixo, enquanto a massa seca (MS) de soja e de milho apresentaram coeficientes de variação mais elevados.

Segundo Gomes (2000), o Coeficiente de Variação aplicado a experimentos agrícolas pode ser interpretado como excelente ou muito baixo ($CV \leq 10\%$) a ruim ou alto ($CV > 30\%$). Os valores de CV (Tabela 1) para EF da soja nas duas safras ficaram entre 10 e 20%, considerados muito bons (baixos) pelo autor, enquanto o EF para a cultura do milho apresentou menor variabilidade, com $CV \leq 10\%$, classificados como muito baixo (excelente). Considerando a produção de biomassa seca (MS), a primeira safra de soja de estudada apresentou CV maior que 30%, considerado alto (ruim), enquanto para milho de segunda safra (2023) e soja na safra 2023/24 tiveram menor variação (CV entre 20 e 30%, bom ou médio). A MS medida após a colheita do milho na segunda safra (2024) teve menor coeficiente de variação ($CV = 19,72\%$), tido como baixo, segundo o critério de (Gomes, 2000).

De acordo com os dados da Tabela 1, verifica-se que a MS produzida pela soja foi maior na safra 2022/23 e $0,73 \text{ t ha}^{-1}$ menor no ano seguinte (2023/24), isso pode ser atribuído as condições climáticas menos favoráveis no segundo ano. O mesmo comportamento foi observado na produtividade da cultura, que reduziu $0,92 \text{ t ha}^{-1}$, do primeiro para o segundo ano. É importante ressaltar na Figura 7, que tal comportamento da produtividade foi semelhante quando se considera os pontos de amostragem, indicando que o comportamento da variabilidade da área parece não ter se alterado nas duas safras.

Analisando a produção de biomassa seca pelo milho de segunda safra em 2024, nota-se baixa variabilidade dos dados ($CV = 19,72\%$), mas alto para produtividade, ($CV = 41\%$), considerado alto (ruim) segundo (Gomes, 2000). É possível que o método de amostragem adotado neste trabalho tenha contribuído para a variabilidade obtida, uma vez que foi realizado a partir da sobreposição dos pontos de amostragem sobre o mapa de produtividade obtido por sensor na colhedora.

Tabela 1. Resultado de análise descritiva para Estande Final (EF, plantas ha⁻¹), Produção de biomassa seca (MS, t ha⁻¹), e Produção de Grãos (t ha⁻¹) nos anos agrícola 2022/23 (safra de verão), 2023 (segunda safra), 2023/24 (safra de verão) e 2024 (segunda safra), em área comercial no município de Capão Bonito, SP.

Parâmetro	n	(n-1)	M	Me	Md	s ²	s	CV%
EF	31	30	264157,71	266666,67	255555,56	32799,387	1075799814,1510	12,41
MS	31	30	9109,68	8600,00	5600,00	3183,2221	10132903,2258	34,94
PG	31	30	5632,62	5555,56	5444,44	709,0939	502841,1833	12,58
EF	31	30	86021,51	88888,89	88888,89	6394,276	40886765	7,43
MS	31	30	9716,13	9200	12200	2380,35	5666065	24,49
EF	31	30	268458,78	277777,78	288888,89	30509,63	9,38	11,36
MS	31	30	8366,50	8080	9280	2306,1	5318303,656	27,564
PG	31	30	4,71	4,76	4,76	0,8241	0,6791	17,483
EF	31	30	83870,97	88888,89	8888,89	8032,1933	64516129,0323	9,57
MS	31	30	9016,7742	8960,00	10080,00	1778,8318	3164242,5806	19,72
PG	31	30	6,41	5,78	5,78	2,6274	6,9031	41,00

n = número de pontos amostrados, M = média aritmética; Me = mediana; Md = moda; s = variância amostral; s² = desvio padrão da média; CV = coeficiente de variação; **= significativo ao nível de 1% de probabilidade (distribuição não normal).

Entretanto, o comportamento da produção de grãos considerando os pontos de amostragem (Figura 8) apresentou-se semelhante aos de produtividade da soja, dando indícios de que a variabilidade da área se mostra estável e, sendo detectada, poderá ser trabalhada a partir da elaboração de zonas de manejo.

Na safra de verão de 2022/23 durante o cultivo da soja, realizaram-se análises detalhadas de alguns componentes de produção, bem como suas correlações de Pearson, apresentadas na Tabela 2.

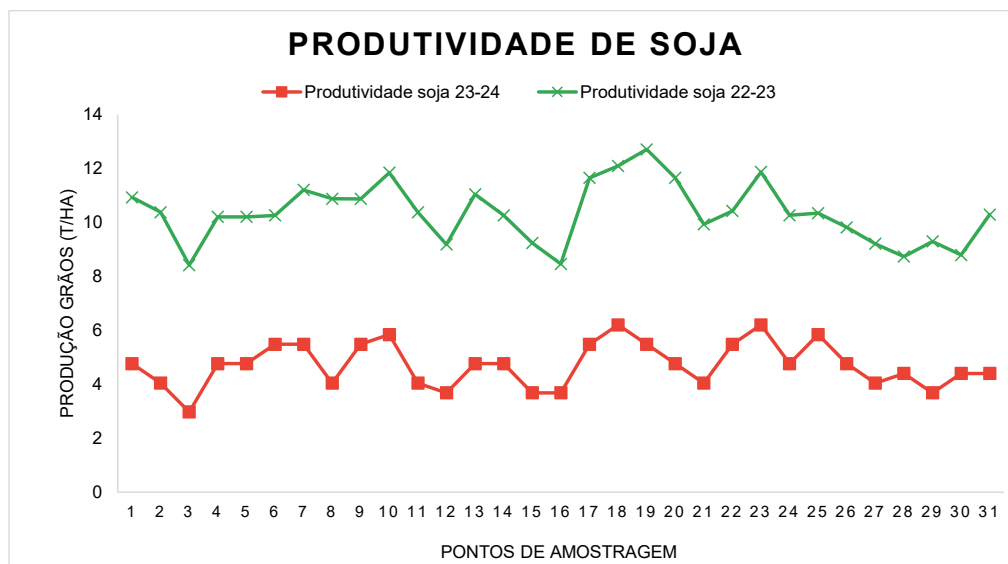


Figura 7. Produtividade da soja nos anos agrícolas 2022/23 e 2023/24, nos pontos de amostragem na área comercial no município de Capão Bonito, SP.

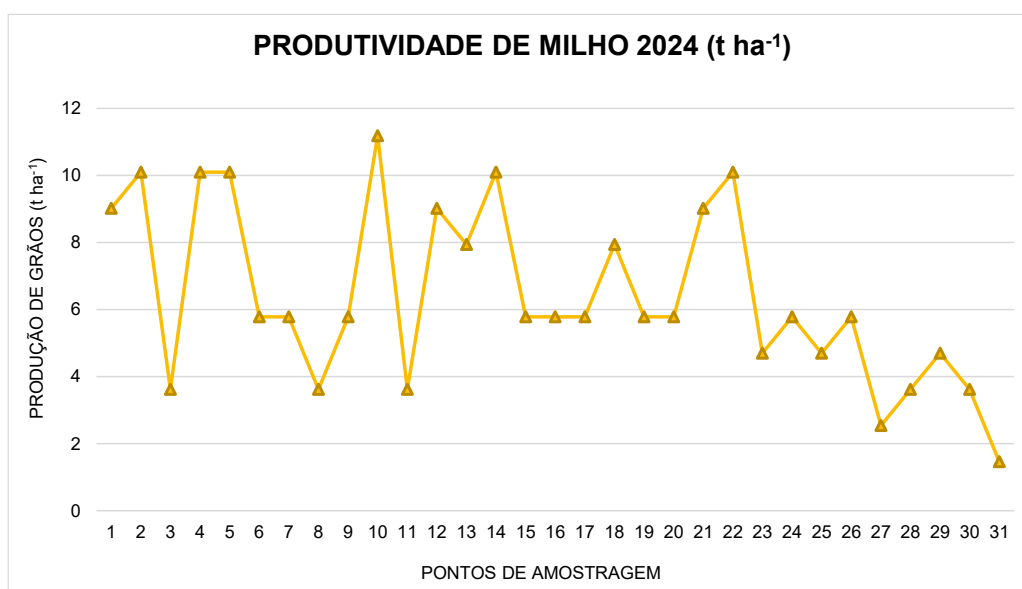


Figura 8. Produtividade do milho de segunda safra (2024) no ano agrícola 2023/24, nos pontos de amostragem na área comercial no município de Capão Bonito, SP.

O EF correlacionou-se de forma positiva e significativa com a PGS, expressa pela Equação (a) na Tabela 6 e ilustrado pela Figura 9. O resultado obtido mostra-se coerente, indicando a distribuição assertiva das sementes na área durante a semeadura, uma vez que a produção de grãos deve se relacionar com o estande final adequado no final do ciclo. A

correlação obtida entre MS_{p+g} e PGS (Tabela 6, Equação (c)) também foi positiva e significativa, conforme ilustrada na Figura 10, o que confirma o comportamento dos dados de EF e produção de grãos de soja. Os dados obtidos também estão de acordo com outros estudos, como (DALCHIAVON e CARVALHO, 2012), que também verificaram correlações positivas entre número de vagens e produção de grãos de soja. Os autores ainda conferiram a produção de vagens por planta e produção de grãos por planta como bons indicadores para se estimar a produtividade da soja.

Tabela 2. Análise de correlação de Pearson (R) para componentes de produção de soja no ano agrícola de 2022/2023 em área comercial no município de Capão Bonito, SP.

	EF (pl/há)	MV _{p+g} (kg/ha)	MS _{p+g} (kg/ha)	MV (kg/ha)	MS (kg/ha)	PG (kg/ha)	PGS (kg/ha)	PMS (g)
EF (pl/ha)	1							
MV _{p+g} (kg/ha)	0,2367	1						
MS _{p+g} (kg/ha)	0,2956	0,8513	1					
MV (kg/ha)	-0,3246	-0,0702	0,0426	1				
MS (kg/ha)	-0,2023	-0,1157	0,0246	0,9156	1			
PG (kg/ha)	0,3063	0,0810	0,2193	0,1099	0,0453	1		
PGS (kg/ha)	0,5766	0,4595	0,6641	-0,0505	-0,0314	0,4390	1	
PMS (g)	0,2071	-0,2024	-0,2125	-0,2562	-0,228	-0,0101	-0,0730	1

EF – estande final (planta ha⁻¹), MV_{p+g} - biomassa verde de soja + produção de grãos (kg ha⁻¹), MS_{p+g} - biomassa seca de soja + produção de grãos (kg ha⁻¹), MV - biomassa verde de cobertura pós colheita (kg ha⁻¹), MS - Biomassa Seca de cobertura pós-colheita (kg ha⁻¹), PG - produção de grãos de soja úmido (kg ha⁻¹), PGS - produção de grãos de soja seco (kg ha⁻¹), PMS – peso de 1000 sementes.

Tabela 3. Equações de regressão entre componentes de produção da soja no ano agrícola 2022/23 em área comercial no município de Capão Bonito, SP.

Componentes (2022-23)	Equação	Letra	R ²	Tipo
EF (pl ha ⁻¹) x PGS (kg ha ⁻¹)	PGS = 0,0125.EF + 2339,9	(a)	0,3324**	Linear
MV _{p+g} x MS _{p+g} (kg ha ⁻¹)	MV _{p+g} = 0,4893. MS _{p+g} + 4127,2	(b)	0,7248**	Linear
MS _{p+g} (kg ha ⁻¹) x PGS (kg ha ⁻¹)	PGS = 0,2058. MS _{p+g} + 2618,8	(c)	0,4410**	Linear
MV x MS	MS = 0,3839.MV + 3255,1	(d)	0,8383**	Linear

EF – estande final (planta ha⁻¹), MV_{p+g} - biomassa verde de soja + produção de grãos (kg ha⁻¹), MS_{p+g} - biomassa seca de soja + produção de grãos (kg ha⁻¹), MV - biomassa verde de cobertura pós colheita (kg ha⁻¹), MS - Biomassa Seca de cobertura pós-colheita (kg ha⁻¹), PG - produção de grãos de soja úmido (kg ha⁻¹), PGS - produção de grãos de soja seco (kg ha⁻¹), PMS – peso de 1000 sementes. ** - significativo ao nível de 5% de probabilidade.

As correlações entre produção de biomassa (verde e seca) encontradas na Tabela 6 e expressas pelas equações (b e d) foram mais altas, positivas e significativas, conforme ilustrado

nas Figuras 11 e 12. Considerando que a secagem do material proporciona melhor comparação com a eliminação da umidade, tais correlações confirmam o que era esperado durante estas análises.

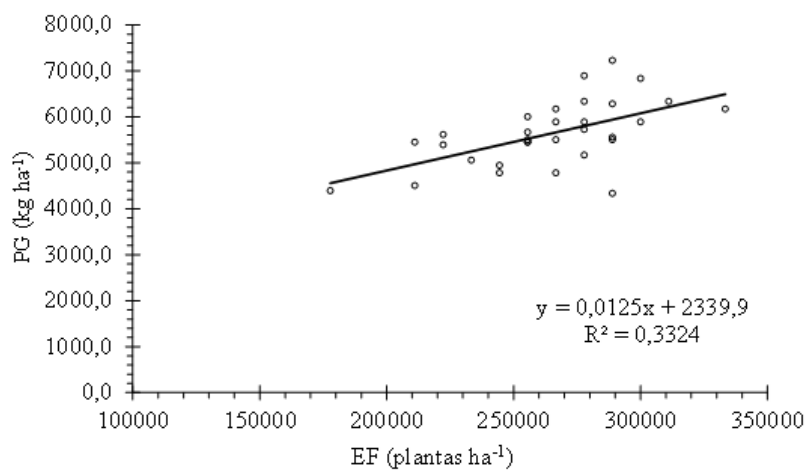


Figura 9. Correlação entre estande final de plantas de soja (EF plantas ha⁻¹) produtividade da cultura (PG, kg ha⁻¹) no ano agrícola 2022/2023 no município de Capão Bonito, SP.

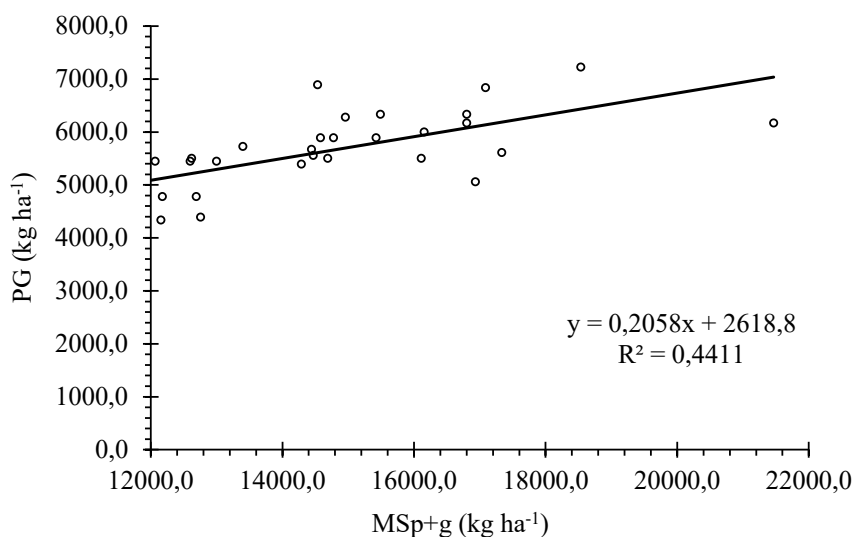


Figura 10. Correlação entre soma de massa seca de plantas e de grãos de soja (MSP+g, kg ha⁻¹) e produtividade da cultura (PG, kg ha⁻¹) no ano agrícola 2022/2023 no município de Capão Bonito, SP.

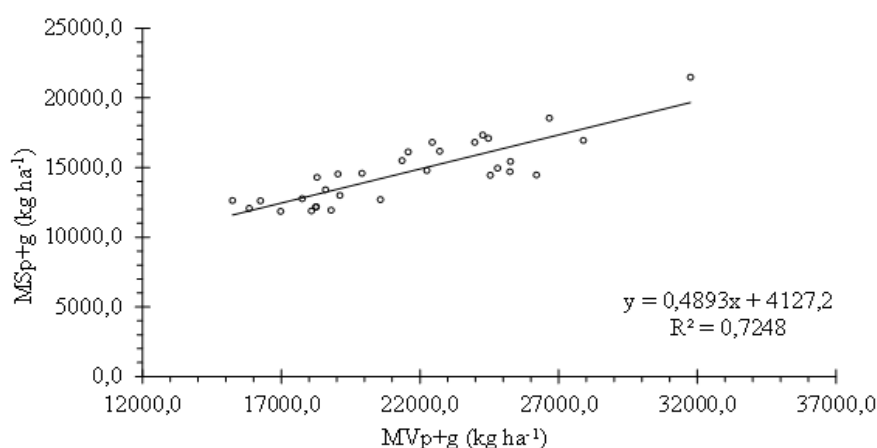


Figura 11. Correlação entre biomassa verde de plantas e de grãos de soja (MV_{p+g} , kg ha^{-1}) e biomassa seca de plantas e de grãos (MS_{p+g} , kg ha^{-1}) no ano agrícola de 2022/2023 no município de Capão Bonito, SP.

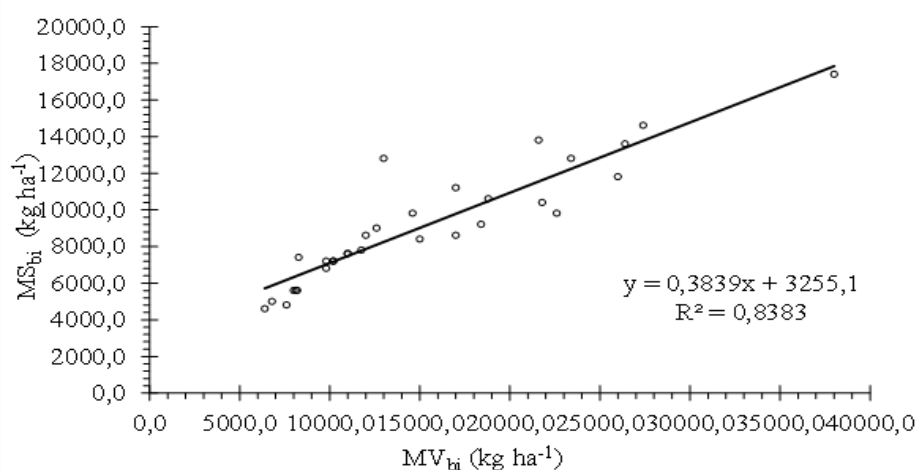


Figura 12. Correlação entre biomassa verde pós colheita da soja (MV_{bi} , kg ha^{-1}) e biomassa seca pós colheita de soja (MS_{bi} , kg ha^{-1}) no ano agrícola de 2022/2023 no município de Capão Bonito, SP.

Os dados de produção de biomassa seca na pós-colheita do milho (MS) e estande final (EF) na segunda safra do ano agrícola 2022/23, apresentaram fraca correlação entre si (correlação de Pearson $R = -0,0212$), diferente do que se observou para a cultura da soja na safra de verão do mesmo ano. Na Tabela 4, os dados apresentados correspondem aos Coeficientes de Correlação de Pearson para componentes de produção de soja no ano agrícola 2023/24, segundo ano de estudo. Nota-se que as correlações entre as variáveis foram fracas, o

que foi diferente do que se esperava, considerando os resultados obtidos no primeiro ano para a cultura da soja. É possível que os efeitos climáticos relacionados à menor precipitação no ano agrícola 2023/24 durante o cultivo da soja tenham influenciado, parcialmente o comportamento dos dados.

Embora se tenha estande final compatível com o potencial produtivo da cultivar, seu potencial genético para produção de grãos parece ter sido limitado pelas condições hídricas locais, como já mostrado na Figura 7, onde o segundo ano de estudo se obteve produção de grãos menor que no ano agrícola 2022/23, porém com comportamento semelhante nos pontos amostrados.

Tabela 4. Análise de correlação de Pearson (R) para componentes de produção de soja no ano agrícola de 2023/24 em área comercial no município de Capão Bonito, SP.

	EF (plantas ha ⁻¹)	MS (kg ha ⁻¹)	PGS (kg ha ⁻¹)
EF (plantas ha ⁻¹)	1		
MS (kg ha ⁻¹)	-0,0699	1	
PGS (kg ha ⁻¹)	-0,1928	0,2743	1

EF – estande final (planta ha⁻¹), MS - Biomassa Seca de cobertura pós-colheita (kg ha⁻¹), PGS - produção de grãos de soja seco (kg ha⁻¹).

Os dados de componentes de produção de soja do ano agrícola 2023/24 também foram analisados quanto às correlações existentes entre si (Tabela 5) e as equações retornadas foram lineares para EF com MS ou PGS e exponencial para MS e PGS, e coeficientes de Correlação não significativos.

Tabela 5. Equações de regressão entre componentes de produção da soja no ano agrícola 2023/2024 em área comercial no município de Capão Bonito, SP.

	Equação	R ²	Tipo
EF (plantas ha ⁻¹) x MS (kg ha ⁻¹)	MS = -0,0053.EF + 9784,2	0,0049 ^{NS}	Linear
EF (plantas ha ⁻¹) x PGS (kg ha ⁻¹)	PGS = -5 ⁰⁶ .EF + 6,112	0,0372 ^{NS}	Linear
MS (kg ha ⁻¹) x PGS (kg ha ⁻¹)	PGS = 3,8366e ^{2E-5} .MS	0,0756 ^{NS}	Exponencial

EF – estande final (planta ha⁻¹), MS - Biomassa Seca de cobertura pós-colheita (kg ha⁻¹), PGS - produção de grãos de soja seco (kg ha⁻¹).

As análises de correlação de Pearson para os componentes de produção de milho no ano de 2024 (Tabela 6) indicaram baixa correlação entre EF e MS, expressa na Equação MS = 0,060.EF + 3934,8 (R² = 0,0749^{NS}) positiva e não significativa. Analisando a correlação entre boa correlação entre EF e PG de milho, a correlação foi linear, positiva e significativa (R² = 0,1922*), como mostrado na Figura 13.

Tabela 6. Análise de correlação de Pearson para componentes de produção de milho de segunda safra (2024) no ano agrícola de 2023/24 em área comercial no município de Capão Bonito, SP.

	EF (plantas ha ⁻¹)	MS (kg ha ⁻¹)	PGS (kg ha ⁻¹)
EF (plantas ha ⁻¹)	1		
MS (kg ha ⁻¹)	0,2736	1	
PGS (kg ha ⁻¹)	0,4384	0,3187	1

EF – estande final (planta ha⁻¹), MS - Biomassa Seca de cobertura pós-colheita (kg ha⁻¹), PGS - produção de grãos de soja seco (kg ha⁻¹).

Embora a cultura do milho tenha enfrentado situação semelhante à soja no que se refere à deficiência de chuvas no período de cultivo, a cultura parece ter respondido melhor ao estande estabelecido, possivelmente devido à sua maior rusticidade e adaptação à época de cultivo. Segundo SOUZA e BARBOSA, (2015) o milho cultivado na segunda safra, tem o desenvolvimento e a produtividade da cultura prejudicados pela combinação de fatores como temperaturas mais baixas, reduzida disponibilidade hídrica, baixa umidade relativa do ar e níveis limitados de radiação solar. De modo geral, a escassez de água é considerada a principal causa das maiores perdas de produtividade nas culturas agrícolas. A análise entre dados de MS e PGS de milho (Tabela 6) resultou em correlação linear, positiva ($PGS = 0,0005 \cdot MS + 2,1623$) e não significativa ($R^2 = 0,1016$ NS). Os dados de produtividade de milho foram obtidos a partir do sensor de massa da colhedora, equipada com ferramentas aplicadas à agricultura de precisão, georreferenciando o mapa de produtividade e sobrepondo os pontos de amostragem, o que parece ter levado à detecção de pontos com maior EF e que não corresponderam, necessariamente, às maiores produtividades.

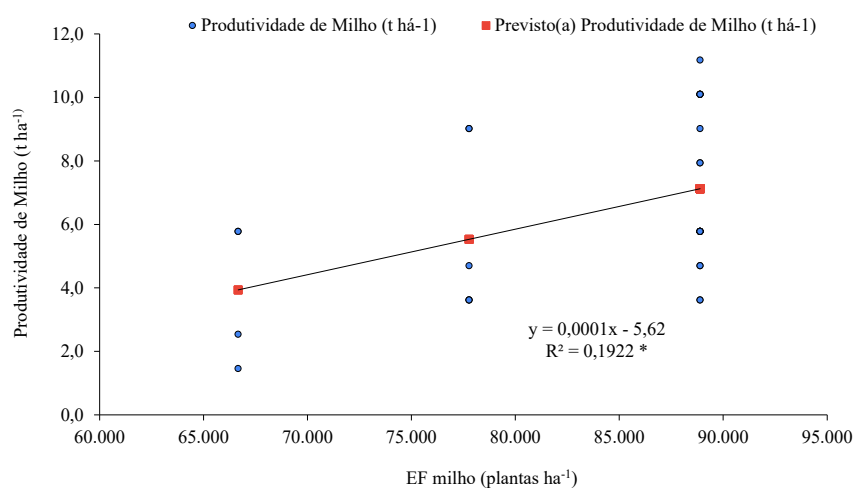


Figura 13. Correlação entre Estande Final (EF) e Produção de milho (PGS) em área comercial de Capão Bonito, SP na segunda safra (2024).

Análise espacial de produtividade

Os dados de produtividade são ferramentas fundamentais para se definir zonas de manejo em uma área, em especial quando são associados a outros dados da área e da cultura. Os dados apresentados na Tabela 7 são referentes aos ajustes do semivariograma que demonstram a distribuição espacial das produtividades das safras de soja e de milho.

A produtividade de soja na safra 2022/23 mostrou moderada dependência espacial (DE = 50,81%) e cujo semivariograma é apresentado na Figura 14, em eixo X representa o alcance (A, m) e Y a semivariância ($\frac{\gamma}{2}$). O modelo exponencial indica um alcance de 88,41m para dependência dos dados de PGS de soja, no entanto, mais de 50% da variância é atribuída a causas aleatórias (efeito pepita). Os dados da produção de grãos de soja (PGS-sj) no ano agrícola 2023/24 apresentou modelo esférico (Figura 15) e forte dependência espacial entre os dados (DE = 1,91%) com mais de 98% da variância sendo explicada pelo comportamento dos dados obtidos nos pontos de coleta. O alcance obtido para este conjunto de dados (82,33 m), mostra-se muito próximo ao do ano anterior, indicando que os dados de produtividade de soja se comportaram de forma semelhante, como já apontado na Figura 7. A sobreposição dos mapas de produtividade da soja dos dois anos estudados parece ser uma iniciativa recomendada para iniciar possível detecção de zonas de manejo da área.

Tabela 7. Parâmetros dos Semivariogramas das produções de soja (2022/23 e 2023/24) e milho na segunda safra (2024) em área comercial no município de Capão Bonito, SP.

Variável	Modelo	Co	Co+C	A	SSE	RMSE	AIC	DE(%)
PGS-sj 2022-23 (t ha ⁻¹)	Exponencial	0,1692	0,3330	88,41	0,2182	0,08828	-36,62	50,81
PGS-sj 2023-24 (t ha ⁻¹)	Esférico	0,00952	0,4964	82,33	1,427	0,2257	15,95	1,91
PGS-mi 2023-24 (t ha ⁻¹)	Esférico	1,678	11,39	1007,1	117,1	2,045	139,4	14,73

; Co= efeito pepita; Co+C= patamar; A= (autocorrelação) proporção da variação explicada pela distância entre as amostras; A = alcance (amplitude) que, para o modelo Gaussiano é dado por $\sqrt{3 \cdot A_0}$, ao passo que para o modelo Exponencial é calculado por $3 \cdot A_0$; SSE = Soma dos Quadrados dos Erros; RMSE = Raiz do Erro Quadrático Médio; AIC = Índice de Akaike; GDE= grau de dependência espacial, calculada em função do efeito pepita e do patamar calculados para o modelo definido para a variável.

A produção de milho de segunda safra no ano agrícola 2023/24, também mostrou semivariograma de modelo esférico (Figura 16), com alto grau de dependência espacial (DE = 14,73%). A maior parte da variância também pode ser explicada pelos dados, mas a distância

(alcance) de dependência espacial entre os pontos deve ser melhor estudada, considerando próximas safras e adensamento de amostragem, a considerar o método de coleta dos dados a partir do mapa de colheita da colhedora. A soma dos quadrados das diferenças entre valores observados e estimados (SSE) que auxilia na avaliação do ajuste dos dados ao modelo também foram elevados, indicando a necessidade de maior número de safras para avaliações mais seguras. Destacando a importância de se trabalhar com mais pontos amostrais, aumentar o grid de pontos, que conseqüentemente terá menor distância entre os pontos, e dentro desses pontos trabalhar com amostras simples para se obter uma composta, para diante desses dados obter valores mais assertivos e desta forma obter menor variabilidade.

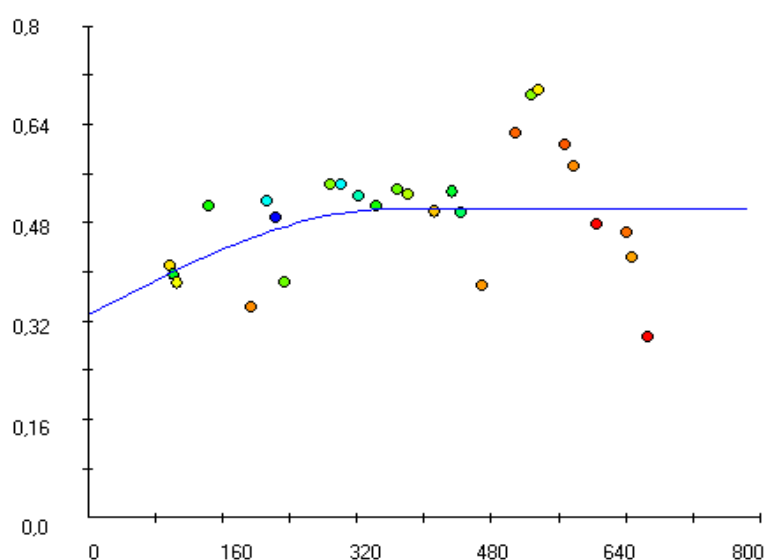


Figura 14. Semivariograma exponencial da produção de soja no ano agrícola 2022/23, em área comercial no município de Capão Bonito, SP.

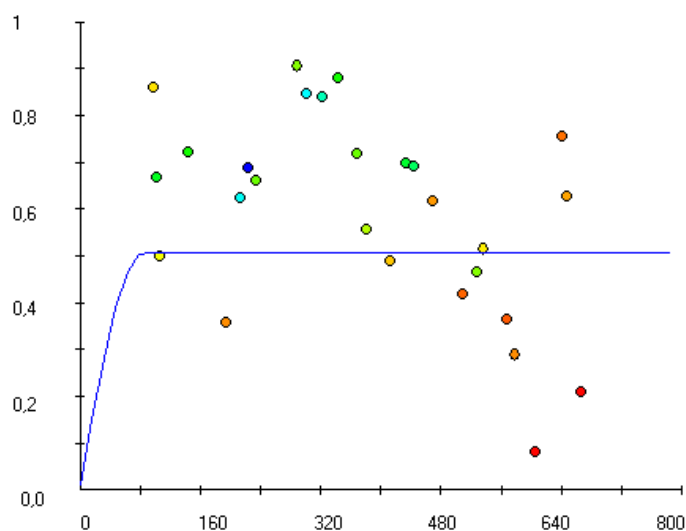


Figura 15. Semivariograma esférico da produção de soja no ano agrícola 2023-24, em área comercial no município de Capão Bonito, SP.

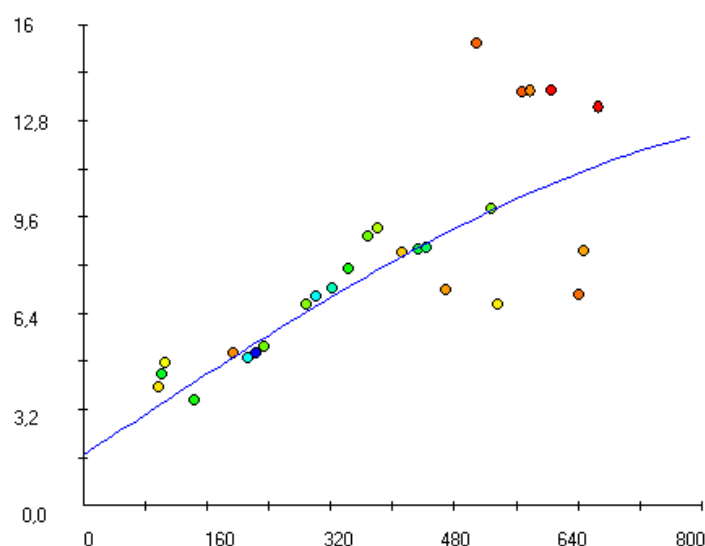


Figura 16. Semivariograma esférico da produção de milho de segunda safra no ano agrícola 2023-24, em área comercial no município de Capão Bonito, SP.

A utilização dos dados provenientes de três safras, sendo duas de soja e uma segunda safra de milho referentes ao ciclo 2023/24, demonstra potencial viabilidade para a identificação e delimitação de zonas de manejo dentro da área analisada. Dessa forma, os mapas de produtividade têm como objetivo central proporcionar uma melhor compreensão da variabilidade espacial dentro da lavoura. Essa análise possibilita a correlação com outros fatores

que impactam o rendimento da cultura ao longo do seu desenvolvimento, servindo como uma ferramenta estratégica para apoiar decisões no manejo localizado (SANTI et al., 2013).

No entanto, a inclusão de variáveis adicionais, como o NDVI, pode enriquecer significativamente a análise, permitindo uma caracterização mais precisa da variabilidade espacial e contribuindo para uma tomada de decisão agrônômica ainda mais eficiente.

As Figuras 17 e 18 mostram os mapas do Índice Vegetativo de Diferença Normalizada (NDVI) para as culturas da soja e milho, respectivamente, no ano agrícola 2022/23.



Figura 17. Índice Vegetativo de Diferença Normalizada (NDVI) na cultura da soja no estágio vegetativo V5 a V6 (09/11/2022) no ano agrícola 2022/23, em área comercial no município de Capão Bonito, SP. **Fonte:** Plataforma AT Farm Yara, em parceria para o trabalho.

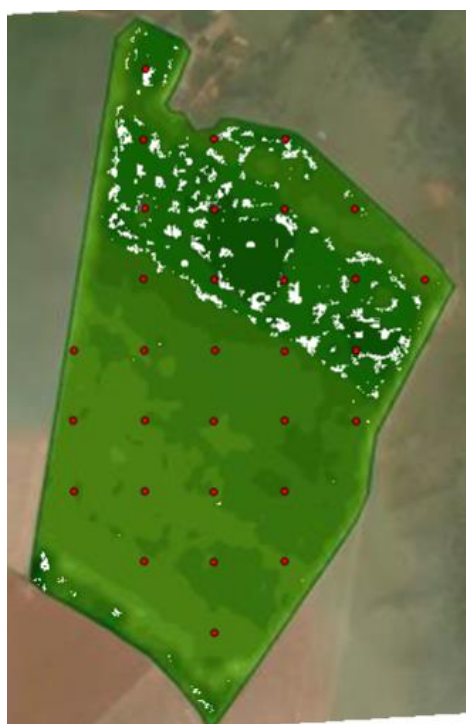


Figura 18. Índice Vegetativo de Diferença Normalizada (NDVI) na cultura do milho no estágio vegetativo V5 a V6 (03/04/2023) no ano agrícola 2022/23, em área comercial no município de Capão Bonito, SP. **Fonte:** Plataforma AT Farm Yara, em parceria para o trabalho.

Este índice mostra a estimativa da produção de biomassa das culturas, se relacionando com a concentração de N na planta. Nota-se em ambas as figuras, variação no valor do NDVI, o que deverá contribuir com a definição de zonas de manejo, se associados aos mapas de produção de grãos das safras estudadas.

As Figuras 19 e 20 apresentam o mesmo índice para a safra 2023/24 e nota-se padrão semelhante, em particular na cultura do milho, entre os índices NDVI para as duas safras.



Figura 19. Índice Vegetativo de Diferença Normalizada (NDVI) na cultura da soja no estágio vegetativo V5 a V6 (15/11/2023) no ano agrícola 2023/24, em área comercial no município de Capão Bonito, SP. **Fonte:** Plataforma AT Farm Yara, em parceria para o trabalho.

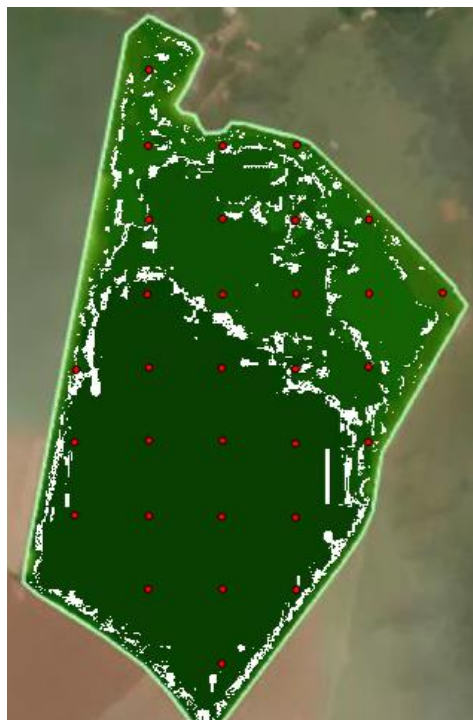


Figura 20. Índice Vegetativo de Diferença Normalizada (NDVI) na cultura do milho no estágio vegetativo V5 a V6 (19/04/2024) no ano agrícola 2023/24, em área comercial no município de Capão Bonito, SP. **Fonte:** Plataforma AT Farm Yara, em parceria para o trabalho.

Associar os mapas de produção de grãos (PGS) três culturas e os índices NDVI de 4 culturas nos anos agrícolas 2022/23 e 2023/24 pode assim permitir a identificação de áreas destinadas a manejo diferenciado. Santi et al. (2013), destaca que um fator importante a ser considerado na definição das zonas de manejo é o agrupamento de culturas pertencentes à mesma família botânica. Quando isso não for possível, recomenda-se o uso de mapas obtidos em condições ambientais similares, especialmente no que se refere à disponibilidade hídrica durante o desenvolvimento das plantas, preferencialmente em períodos sem ocorrência de estresse por déficit hídrico. Diante disso é essencial que a delimitação das zonas de manejo considere tanto a afinidade entre as culturas quanto as condições ambientais em que os dados foram coletados, priorizando períodos com adequada disponibilidade hídrica. Essa abordagem contribui para uma análise mais consistente da variabilidade espacial e para a adoção de práticas agronômicas mais eficientes. A correlação entre o NDVI e os dados de produtividade é uma etapa essencial na validação da variabilidade espacial identificada na área. O NDVI, por ser um indicador do vigor vegetativo das plantas, quando comparado com a produtividade real, permite

confirmar se as diferenças no desenvolvimento das culturas resultaram efetivamente em variações de rendimento. Essa análise integrada favorece uma delimitação mais precisa das zonas de manejo, contribui para a tomada de decisões agronômicas mais eficientes e permite o uso do índice como ferramenta preditiva em safras futuras. Dessa forma, a correlação entre NDVI e produtividade agrega confiabilidade ao diagnóstico da área e fortalece a adoção de práticas de Agricultura de Precisão.

6. CONCLUSÃO

Com base nos dados obtidos e nas condições em que o estudo foi realizado, é possível concluir que:

As zonas de manejo podem ser estudadas com a associação dos mapas de produtividade e de NDVI;

Os componentes de produção EF e PGS, e EF e MS_{p+g} são positivamente correlacionadas, como evidenciado no ano agrícola 2022/23;

Para o milho, EF e PGS foram significativas e positivas, notados no ano agrícola 2023/24;

A produtividade de soja e milho apresenta moderada e forte dependência espacial, respectivamente;

Há variação na distribuição espacial da biomassa de plantas nos anos agrícolas associada ao NDVI.

A hipótese do trabalho foi confirmada pelo estudo, ressaltando a importância da sua continuidade.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARENGA, R.C. Plantas de cobertura de solo para sistema de plantio direto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, n. 208, pag. 25-36, jan./fev. 2001.
- ALVES, G. C. **Efeito da inoculação de bactérias Diazotróficas dos gêneros *Herbaspirillum* e *Bulkholderia* em genótipos de milho**. Fev. 2007. 65 p. Dissertação de mestrado. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, RJ. Disponível em <<https://tede.ufrj.br/jspui/handle/tede/267>> Acesso em: 08 Abril de 2025.
- ALVES, B. M.; FILHO, A. C.; BURIN, C.; TOEBE, M.; SILVA, L. P. da. Divergência genética de milho transgênico em relação à produtividade de grãos e à qualidade nutricional. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 5, p. 884–891, 2015.
- ANTUNIASSI, U. R.; GADANHA JÚNIOR, C. D. Aplicação localizada de produtos fitossanitários. In: BORÉM, A. **Agricultura de precisão**. Viçosa - UFV, 2000. p. 181-202.
- BALEM, Z. **Avaliação de espaçamento convencional e linhas gêmeas sob densidade populacional para cultura do milho**. Dissertação de mestrado, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Pato Branco, 70p., 2013.
- BARBOSA, K. M. N. **Monitoramento espacial de biomassa carbono orgânico da vegetação herbácea de várzea na Amazônia Central**. 2006. 131 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.
- BATAGLIA, O. C.; FURLANI, A. M. C.; TEIXEIRA, J. P. F.; FURLANI, P. R.; GALLO, J. R. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas, Instituto Agrônomo, 1983. 48p. (Boletim Técnico, 78).
- BRACHTVOGEL, E. L.; PEREIRA, F. R. da S.; CRUZ, S. C. S.; ABREU, M. L. de; BICUDO, S. J. População, arranjo de plantas uniforme e a competição intraespecífica em milho. **Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas**, Boa Vista, v. 6, n. 1, p. 75–83, 2012.
- BRASMAX. **FOLDER BRASMAX SUL 2024: Variedades de Soja**. Brasmax, 2024. Disponível em: https://d335luupugsy2.cloudfront.net/cms%2Ffiles%2F49036%2F1701175347FOLDER_BRASMAX_SUL_2024.pdf. Acesso em: 18 abr. 2025.
- BRUNS, H. A. Comparisons of single-row and twin-row soybean production in the Mid-South. **Agronomy Journal**, Madison, v. 103, n. 3, p. 702-708, 2011.

CASTRO, C. de. Análise foliar: Cuidados para Coleta de Folhas e Interpretação. In: CONAB. **Nova estimativa para safra de grãos na safra 2023/24 é de 295,6 milhões de toneladas.** Publicado em 12 mar. 2024. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/5425-nova-estimativa-para-safra-de-graos-na-safra-2023-24-e-de-295-6-milhoes-de-toneladas>.

Acesso em: 18 jun. 2025.

COSTA & MARCHEZAN (1982), Apud CÂMARA, G. M. S. **Informações agronômicas: fenologia da soja.** Edição número 82, Piracicaba, junho de 1998.

DALCHIAVON, F.C., Carvalho, M.P. Correlação linear e espacial dos componentes de produção e produtividade da soja. **Semina: Ciências Agrárias**, v.33, n.2, p.541-552, 2012.

DE OLIVEIRA, R. P. **Contributions towards decision support for site-specific crop management: a study of aspects influencing the development of knowledge-intensive differential management decisions.** PhD Thesis, Australian Centre of Precision Agriculture, University of Sydney, Sydney, Australia, ID 14851, 318 pp, 2009.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **História da Soja.** 2015. Disponível em: <https://www.embrapa.br/web/portal/soja/cultivos/soja1/historia>. Acesso em: 20 de março de 2025.

EMBRAPA. Soja: **Manejo da Fertilidade do Solo.** Brasília, Publicado 08 dez. 2021. DF: Embrapa. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/soja/producao/manejo-da-fertilidade-do-solo/exigencias-minerais-e-adubacao/analise-foliar>. Acesso em: 17 jun. 2025.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 5. ed., Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.

FARINELLI, R.; PENARIOL, F. G.; FORNASIERI FILHO, D. Características agronômicas e produtividade de cultivares de milho em diferentes espaçamentos entre linhas e densidades populacionais. **Científica**, Jaboticabal, v. 40, n. 1, p. 21–27, 2012.

Gavioli, A., de Souza, E. G., Bazzi, C. L., Schenatto, K., & Betzek, N. M. Identification of management zones in precision agriculture: An evaluation of alternative cluster analysis methods. **Biosystems engineering**, n.181, p.86. 2019. <<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.02.019>>. Acesso em: 8 mar. 2025.

INTERNATIONAL SOCIETY OF PRECISION AGRICULTURE (ISPA). **Precision Agriculture Definition**. Revisado em janeiro de 2024. Disponível em: <<https://www.ispag.org/resources/definition>>. Acesso em: 16 jun. 2025.

GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental**. Piracicaba: Nobel, 2000.

LAMPARELLI, R.A.C.; ROCHA, J.V.; BORGHI, E. **Geoprocessamento e Agricultura de Precisão**. 118p. Ed. Agropecuária, 2001.

Lowenberg-DeBoer, J., & Erickson, B. **Setting the record straight on precision agriculture adoption**. *Agronomy Journal*, n.111, p.1552. 2019. Disponível em: <doi.org/10.2134/agronj2018.12.0779>. Acesso em: 8 mar. 2025.

MANTOVANI, E. C. Agricultura de precisão e sua organização no Brasil. **Agricultura de Precisão**. Viçosa, 2000. p.79-92.

MARTINS, V. A. *et al.* Previsões e Estimativas das Safras Agrícolas do Estado de São Paulo, Ano Agrícola 2023/24, Junho de 2024. **Análises e Indicadores do Agronegócio**, São Paulo, v. 19, n. 9, set. 2024, p. 1-12. Disponível em: colocar o link do artigo. Acesso em: 23 jun. 2025.

MINASNY, B.; MCBRATNEY, A.B.; WHELAN, B.M. 2005. VESPER version 1.62. **Australian Centre for Precision Agriculture**, McMillan Building A05, The University of Sydney, NSW 2006. Disponível em: <<http://usyd.edu.au/su/agric/acpa>>. Acesso em: 15 jun. 2025.

MOHARANA, P., JENA, R., PRADHAN, U., NOGIYA, M., TAILOR, B., SINGH, R., SINGH, S. (2020). **Geostatistical and fuzzy clustering approach for delineation of site-specific management zones and yield-limiting factors in irrigated hot arid environment of India**. *Precision Agriculture*, 21, 426. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11119-019-09671-9>>. Acesso em: 20 jan. 2025.

MOLIN, J. P; ANSELMINI, A. A. **Agricultura de precisão considera variabilidade das áreas de cultivo**. *Visão Agrícola*, v. 13, n. jul/dez, 2015.

OLIVEIRA, P. R., et al. (2018). **Cover crops and their impact on soybean yield**. *Journal of Agronomy*, 110(3), 345-355.

PIERCE, F.J. & NOWAK, P. **Aspects of precision agriculture**. *Adv. Agron.*, 67:1-85, 1999. <[https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60513-1](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60513-1)>. Acesso em: 03 de abril de 2025.

PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agronômicos e florestais**: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos. Piracicaba: Fealq, 2002.

Pioneer. **PowerCore® Ultra**. Pioneer, s.d. Disponível em: <https://www.pioneer.com/br/tecnologias/tecnologias-milho/powercore-ultra.html>. Acesso em: 18 abr. 2025.

REBELLO C & TURETTA APD. 2017. **Ferramentas para avaliação do potencial à prestação de serviços ambientais pelo Sistema plantio direto**. Rio de Janeiro: EMBRAPA. 6p. (Comunicado técnico).

RUß, G., KRUSE, R. (2011). Agrupamento Hierárquico Exploratório para Delineamento de Zonas de Gestão em Agricultura de Precisão. In: Perner, P. (orgs.) **Avanços em Mineração de Dados. Aplicações e Aspectos Teóricos**. ICDM 2011. Notas de Aula em Ciência da Computação, vol. 6870. Springer, Berlim, Heidelberg. Disponível em : <https://doi.org/10.1007/978-3-642-23184-1_13>. Acesso em: 18 jun. 2025.

SANGOI, L.; AMEILDA, M. L.; GRACIETTI, M. A.; HORN, D.; SCHWEITZER, C.; SANTI, A. L. et al. Taxa Variada de Palha: qual o investimento no sistema plantio direto? **Revista Plantio Direto**, Edição conjunta, 149-150. 2016.

SANTI, A.L. et al. Definição de zonas de produtividade em áreas manejadas com agricultura de precisão. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.8, n.3, p.510-515, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.5039/agraria.v8i3a2489>>. Acesso em: 22 jun. 2025.

SCHMITT, A.; BIANCHET, P. Rendimento de grãos, produção e distribuição de massa seca de híbridos de milho em função do aumento da densidade de plantas. **Revista Brasileira Agrociência**, v. 11, n. 1, p. 35-31, 2005.

SÉGUY, L.; BOUZINAC, S. O plantio direto no cerrado úmido. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n.69, p.I-4, mar. 1995.

SHANAHAN, J. F.; SCHEPERS, J. S.; FRANCIS, D. D.; VARVEL, G. E.; WILHELM W. W.; TRINGE, J. M.; SCHLEMMER, M. R.; MAJOR, D.J. **Use of remote-sensing imagery to estimate corn grain yield**. *Agronomy Journal*, Madison, v. 93, p. 583- 589, 2001. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.2134/agronj2001.933583x>>. Acesso em: 20 jan. 2025.

SHARMA, L.; BU, H.; DENTON, A.; FRANZEN, D. W. Active-Optical Sensors Using Red

NDVI compared to Red Edge NDVI for prediction of corn grain yield in North Dakota, U.S.A. **Sensors, Basel**, v. 15, n. 11, p. 27832–27853, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3390/s151127832>>. Acesso em: 15 jun. 2025.

SCHMITT, Amauri. **Arranjo de plantas para maximizar o desempenho agrônômico do milho em ambientes de alto manejo**. 2014, 226f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal – Áreas: Ciências Agrárias, Fitotecnia, Agronomia) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias, Lages, 2014.

SCHWALBERT, R. A. et al. Zonas de manejo: atributos de solo e planta visando a sua delimitação e aplicações na agricultura de precisão. **Revista Plantio Direto**, Edição 140, p. 21–32, 2014.

Silva, C. D. O. F. Classificação supervisionada de área irrigada utilizando índices espectrais de imagens Landsat8 com Google Earth Engine. **Irriga**, n.25, p.160. 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.15809/irriga.2020v25n1p160-169>>. Acesso em: 10 mai. 2025.

SILVA, C. D. O. F., TEIXEIRA, A. H.C., MANZIONE, R. L. Agriwater: An R package for spatial modelling of energy balance and actual evapotranspiration using satellite images and agrometeorological data. **Environmental modelling & software**, 120, 104497. 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2019.104497>>. Acesso em: 10 mai. 2025.

Silva, C. D. O. F, Grego, CR, Manzione, RL *et al.* Delimitação de zonas de manejo para lidar com baixa amostragem e valores discrepantes. **Precision Agriculture**, v.26 , n.19, 2025. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11119-024-10218-w>> Acesso em: 10 mai. 2025.

SOARES, A. **Geoestatística para as ciências da terra e do ambiente**. IST Press, p. 214, 2006.

SOUZA, G. M., BARBOSA, A. M. Fatores de estresse no milho são diversos e exigem monitoramento constante. **Visão Agrícola**, n. 13, p. 33, jul./dez. 2015.

SOUZA, J. A. de; BUZETTI, S.; TARSITANO, M. A. A.; VALDERRAMA, M. Lucratividade do milho em razão das fontes, doses e épocas de aplicação de nitrogênio. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 59, n. 3, p. 321–329, 2012.

TORRES, F. E.; SOUZA, L. C. F.; ANDRADE, L. H. L.; PEDROSO, F. F.; MATOSO, A. O.;

TORRES, L. D.; BENETT, C. G. S.; BENETT, K. S. S. Influência da cobertura do solo e doses de nitrogênio na cultura do milho safrinha. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Dois Irmãos, v. 9, n. 1, p. 36–41, 27, 2014.

TSOUROS, D. C., BIBI, S., SARIGIANNIDIS, P. G. A Review on UAV-Based Applications for Precision Agriculture. **Information**, v. 10, n. 349, p. 1-26, 2019.

UEBEL, Juliano Daniel. **Avaliação de fungicidas no controle de doenças foliares, grãos ardidos e efeito no NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) em híbridos de milho**. 2015. xiv, 119 f., il. Dissertação (Mestrado em Agronomia)—Universidade de Brasília, Brasília, 2015. Disponível em: <http://repositorio.unb.br/handle/10482/19019>. Acesso em: 10 de jun. 2025.

USDA. Department of Agriculture. Foreign Agricultural Service (USDA FAS). **Serviço agrícola estrangeiro do USDA**. USDA FAS, 2025. Disponível em: <https://www.fas.usda.gov/data/production/country/us>. Acesso em: 15 mai. 2025.

USDA. Department of Agriculture. Foreign Agricultural Service (USDA FAS). International Production Assessment Division (IPAD). **Brazil Soybean Area, Yield and Production**. IPAD, 12 jun. 2025. Disponível em: <https://ipad.fas.usda.gov/countrysummary/Default.aspx?id=BR&crop=Soybean>. Acesso em: 16 jun. 2025.

USDA. Department of Agriculture. Foreign Agricultural Service (USDA FAS). International Production Assessment Division (IPAD). **Brazil Corn Area, Yield and Production**. IPAD, 12 jun. 2025. Disponível em: <https://ipad.fas.usda.gov/countrysummary/Default.aspx?id=BR&crop=Corn>. Acesso em: 16 jun. 2025.

WEATHERSPARK. Clima tempo. 2025.

WERLE, A. J. K.; NICOLAY, R. J.; SANTOS, R. F.; BORSOI, A.; SECO, D. Avaliação de híbridos de milho convencional e transgênico (Bt), com diferentes aplicações de inseticida em cultivo safrinha. Guarapuava : Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias. 2011. apud SCHMITT, Amauri. **Arranjo de plantas para maximizar o desempenho agrônomo do milho em ambientes de alto manejo**. Lages : Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias. 2014.

YARA. **Como o Atfarm pode me ajudar a monitorar minhas culturas.** Atfarm, 2025. Disponível em: <https://support.at.farm/hc/pt-br/articles/360019194959-Como-o-Atfarm-pode-me-ajudar-a-monitorar-minhas-culturas>. Acesso em: 10 jun. 2025.

YARA. **Como o Atfarm estima o desenvolvimento da biomassa.** Atfarm, [S. D]. Disponível em: <https://support.at.farm/hc/pt-br/articles/12730897527580-Como-o-Atfarm-estima-o-desenvolvimento-da-biomassa>. Acesso em: 10 jun. 2025.