



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA



JOÃO VITOR FERNANDES DE MELLO

**COMPORTAMENTO ESPACIAL DOS ATRIBUTOS FISIOLÓGICOS DE
SEMENTES DE SOJA DE UM CAMPO DE PRODUÇÃO**

UBERLÂNDIA - MG

2026

JOÃO VITOR FERNANDES DE MELLO

**COMPORTAMENTO ESPACIAL DOS ATRIBUTOS FISIOLÓGICOS DE
SEMENTES DE SOJA DE UM CAMPO DE PRODUÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Instituto de Ciências Agrárias da Universidade
Federal de Uberlândia como requisito parcial para
obtenção do título de bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Hugo César R. M. Catão

UBERLÂNDIA – MG

2026

JOÃO VITOR FERNANDES DE MELLO

**COMPORTAMENTO ESPACIAL DOS ATRIBUTOS FISIOLÓGICOS DE
SEMENTES DE SOJA DE UM CAMPO DE PRODUÇÃO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Agronomia, da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Uberlândia – MG, 13 de março de 2026

Banca de avaliação:

Prof. Dr. Hugo Cesar Rodrigues Moreira Catão
Orientador

Adílio de Sá Júnior
Membro da Banca

Sandro Manuel Carmelino Hurtado
Membro da Banca

Aos meus pais, por todo amor e dedicação
que tiveram por mim durante toda minha
vida.

AGRADECIMENTOS

A Deus, toda honra e toda glória. Agradeço a dádiva da vida, por guiar meus passos e fortalecer minha fé, a Ele agradeço por cada porta aberta e fechada. Por ser minha rocha nos momentos difíceis e de incertezas.

Aos meus pais, pelo amor incondicional e por serem o alicerce de tudo o que sou. Agradeço por todos os sacrifícios, pelo apoio incansável e por acreditarem nos meus sonhos, muitas vezes mais do que eu mesmo.

Agradeço a todos os meus professores e colaboradores do curso de Agronomia, em especial ao meu orientador, Prof. Dr. Hugo Catão, pela paciência, por cada ensinamento e pelo apoio constante.

Aos meus colegas no Núcleo de Ensino e Pesquisa em Sementes, obrigado pela dedicação e companheirismo durante essa jornada.

RESUMO

Sementes de soja podem apresentar qualidade diferenciada quando produzidas em distintas áreas de manejo. Este trabalho teve como objetivo avaliar os atributos fisiológicos das sementes de soja, e utilizando de ferramentas geoestatísticas, identificar a variabilidade e a distribuição espacial. Os dados foram coletados na Fazenda do Glória, Uberlândia – MG e avaliados no Laboratório de Análise de Sementes na Universidade Federal de Uberlândia, Campus Umuarama. A colheita das sementes de soja foi realizada em 48 pontos georreferenciados, visando a determinação do comportamento fisiológico das sementes e do comportamento da dependência espacial. Foram avaliados a variabilidade dos atributos de qualidade fisiológica das sementes produzidas nas diferentes zonas, para tal, foram realizados testes de germinação, envelhecimento acelerado, emergência, condutividade elétrica e comprimento de plântulas. Os atributos do solo previamente analisados, juntamente com o estande inicial de plantas e a produtividade das sementes de soja, possibilitaram a validação das zonas de manejo. A qualidade fisiológica das sementes não se apresenta de forma uniforme no campo de produção, dessa forma, a geoestatística é uma ferramenta eficaz para determinar a distribuição espacial dos atributos fisiológicos de qualidade das sementes de soja em áreas de produção.

Palavras-chave: *Glycine max* (L.), Agricultura de Precisão, Variabilidade Espacial, Qualidade de Sementes.

ABSTRACT

Soybean seeds may exhibit distinct quality levels when produced in different management zones. This study aimed to evaluate the physiological attributes of soybean seeds and identify their variability and spatial distribution using geostatistical tools. Data were collected at the Glória Farm (Uberlândia, MG) and analyzed at the Seed Analysis Laboratory of the Federal University of Uberlândia (Umuarama Campus). Soybean seeds were harvested from 48 georeferenced points to determine their physiological behavior and spatial dependence patterns. The variability of physiological quality attributes from different zones was assessed through germination, accelerated aging, seedling emergence, electrical conductivity, and seedling length tests. Previously analyzed soil attributes, along with initial plant stand and seed yield, enabled the validation of management zones. Physiological seed quality is not uniformly distributed across the production field; therefore, geostatistics is an effective tool for determining the spatial distribution of physiological quality attributes in soybean seed production areas.

Keywords: *Glycine max* (L.), Precision Agriculture, Spatial variability, Seed Quality.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	9
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	10
2.1. ZONAS DE MANEJO ELABORADAS A PARTIR DE DADOS DE ATRIBUTOS DE SOLO E VEGETAÇÃO.....	11
2.2. INSTALAÇÃO DA CULTURA, MARCAÇÃO DE ÁREA E COLHEITA.....	13
2.3. ANÁLISE DA QUALIDADE DAS SEMENTES DE SOJA.....	14
2.4. ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	16
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	16
4. CONCLUSÃO.....	21
REFERÊNCIAS.....	21

1. INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* L.), leguminosa de vasta importância global, possui uma rica história que remonta às suas origens na China, onde foi cultivada há mais de cinco mil anos. Inicialmente utilizada como alimento básico e fonte de óleo, sua domesticação e dispersão ao longo dos séculos resultaram na sua expansão para outros continentes, chegando à América no final do século XIX. No Brasil, a cultura da soja ganhou destaque a partir da década de 1970, impulsionada pelo desenvolvimento de cultivares adaptadas às condições tropicais e subtropicais e pelo avanço tecnológico no setor agrícola (Conab, 2025). Atualmente, é o principal produto do agronegócio brasileiro, vital para a economia e segurança alimentar, com recorde de 171,4 milhões de toneladas produzidas em 47,3 milhões de hectares na safra 2024/2025, reafirmando o Brasil como maior produtor e exportador mundial (Conab, 2025; Abiove, 2025).

Dada a magnitude da cultura, a constante busca pela qualidade de sementes é um fator crucial para o sucesso da produção agrícola, influenciando diretamente o estande de plantas, o desenvolvimento inicial da cultura e, conseqüentemente, a produtividade final (Scheeren et. al, 2010). No contexto da cultura da soja, espécie de grande importância econômica para o Brasil e para o cenário mundial, a obtenção de sementes com elevado vigor e viabilidade é fundamental para garantir o retorno do investimento e a sustentabilidade dos sistemas de produção. Contudo, observa-se que a qualidade das sementes pode apresentar variabilidade espacial dentro de uma mesma área de cultivo (Castellanos et al., 2021), o que demanda abordagens que considerem essa heterogeneidade.

A variabilidade espacial nas propriedades do solo tem sido amplamente reconhecida como um fator determinante na qualidade fisiológica das sementes. Estudos indicam que atributos como pH, teor de argila e matéria orgânica influenciam diretamente a qualidade fisiológica das sementes, afetando testes como germinação, emergência e vigor (Mattioni et al, 2013). Assim, ao considerar uma lavoura heterogênea, a área passa a ser categorizada por zonas de manejo, o que pode promover aumento da eficiência no uso dos recursos produtivos e otimizar as etapas do próprio manejo.

A utilização de zonas de manejo, definidas com base em características do solo, permite uma abordagem mais precisa na avaliação e manejo da variabilidade espacial, facilitando a tomada de decisões para otimizar a produção e a qualidade das sementes (Oliveira Filho, 2024). Nesse sentido, ao compreender os atributos das sementes em

função das zonas de manejo, torna-se possível otimizar a estratégia de colheita, tornando-a mais precisa e orientada à obtenção de lotes com elevado padrão de qualidade (Oliveira Filho *et al.*, 2025). Diante o exposto, esta pesquisa foi conduzida com o objetivo de verificar os padrões de comportamento espacial dos atributos fisiológicos de sementes de soja em diferentes zonas de manejo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os grãos de soja usados como sementes botânicas, da cultivar 80I82 RSF IPRO (nome fantasia: BRASMAX OLIMPO IPRO), foram produzidas em Uberlândia, na fazenda experimental do Glória da Universidade Federal de Uberlândia – UFU (18°57'15.6"S 48°11'57.4"O, 920 m altitude), em uma área de 48 hectares (Figura 1).

Figura 1 - Localização da área experimental do campo de sementes de soja e malha de 48 pontos amostrais na safra 23/24.



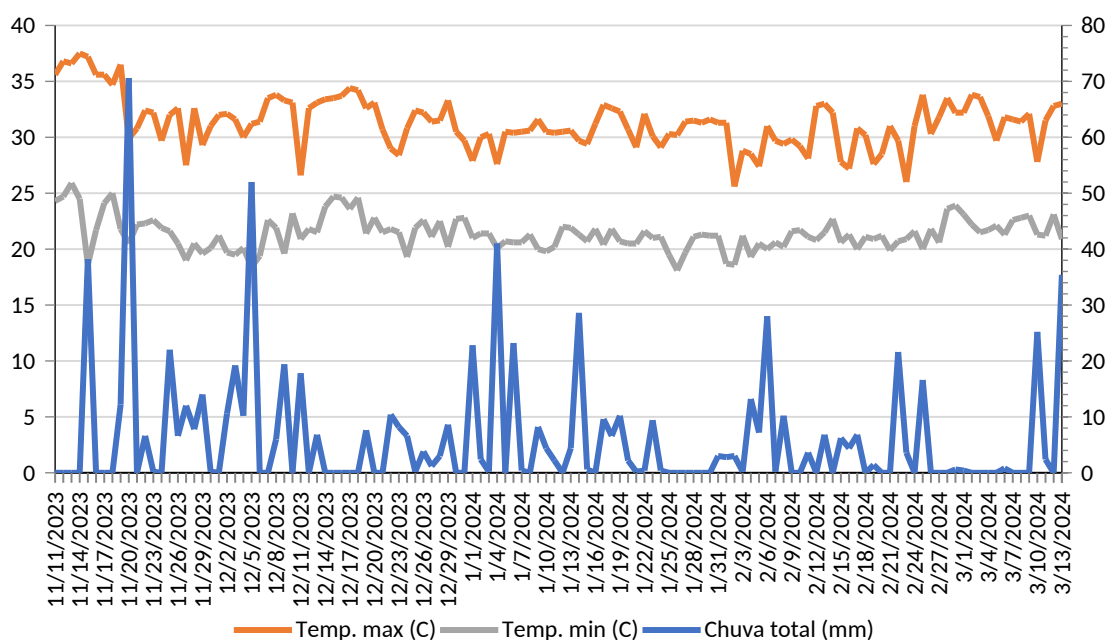
Fonte: Oliveira Filho, 2024.

De acordo com a classificação de Strahler, o clima do município é Tropical Seco-Úmido, caracterizado por alternância sazonal entre uma massa de ar úmida que traz o verão chuvoso, com médias anuais de 1.500 mm de chuva, e uma massa de ar seca que impõe o inverno com estiagem. O solo é do tipo Latossolo Vermelho, definido como solos profundos, bem drenados e intemperizados. A área experimental possui histórico

de manejo em sistema de plantio direto sobre a palhada residual da rotação de culturas de sorgo, milho e soja, conduzidas em regime de sequeiro.

Durante o ciclo de produção das sementes, as condições climáticas foram monitoradas por meio da estação meteorológica automática A501 do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada na Universidade Federal de Uberlândia (UFU), *campus* Santa Mônica, registrando os dados de precipitação pluviométrica (mm) e as temperaturas máxima e mínima (°C) (Figura 2).

Figura 2 - Precipitação pluviométrica (mm), temperaturas (°C) máximas e mínimas correspondentes ao intervalo da semeadura em 12/11/2023 à colheita em 11/03/2024, durante o período de produção das sementes de soja utilizadas no experimento.



Fonte: Acervo Pessoal.

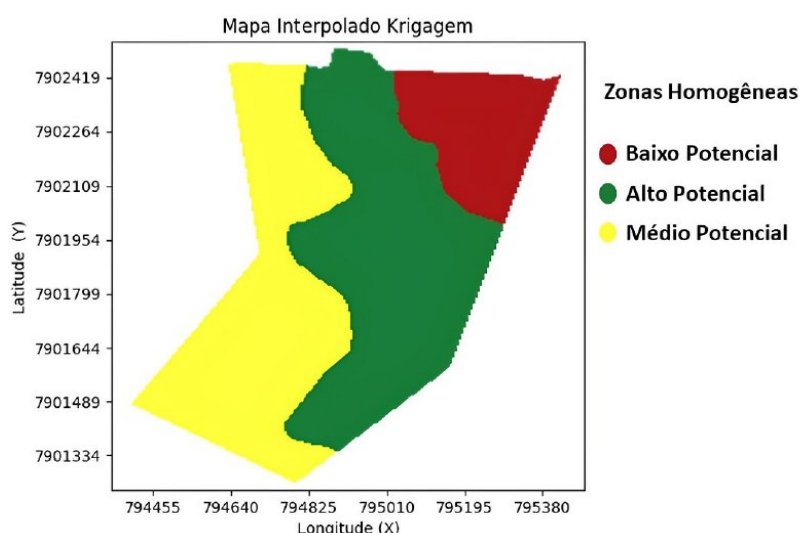
2.1. Elaboração das zonas de manejo a partir dos atributos de solo e vegetação

Previamente à realização desse trabalho e a semeadura da safra 2022/23, a malha amostral foi estabelecida com o auxílio do programa QGIS (Qgis Development Team, 2015). A delimitação foi executada de maneira regular, aleatória e sistemática, compreendendo 48 pontos a uma densidade amostral de 1 ponto por hectare. O georreferenciamento dos pontos amostrais foi realizado por meio de um receptor de GPS, modelo Garmin E-trex Vista®. Subsequentemente, na mesma época, foram coletadas amostras de solo, seguindo a metodologia descrita no manual de métodos de análise de

solo (Teixeira, 2017), a fim de caracterizar os seguintes atributos de solo da área experimental: granulometria (teores de areia e argila), condutividade elétrica, teor de matéria orgânica, CTC total, P-mehlich, resistência do solo à penetração, estande inicial de plantas e produtividade de sementes de soja.

Por meio da interpolação dos atributos de solo e índice de vegetação a área experimental foi classificada em três zonas de manejo (ZM): alto, médio e baixo potencial produtivo (Figura 4). A definição das ZM foi conduzida no ambiente QGIS, com o auxílio do plugin Smart Map (SMP). O mapa final das zonas de manejo foi gerado por meio da aplicação do algoritmo de agrupamento Fuzzy K-means.

Figura 4 - Mapa de zonas de manejo para área experimental, com destaque para as zonas de alto potencial (verde), médio potencial (amarelo) e baixo potencial (vermelho).



Fonte: Oliveira Filho, 2024.

2.2. Instalação da cultura, marcação de área e colheita

A implantação da cultura ocorreu no dia 12 de novembro de 2023, com a semeadura a uma profundidade média de 4 cm e espaçamento de 0,50 m entre linhas, para uma população alvo de 10 plantas por metro. Em cada um dos 48 pontos da malha amostral, foram demarcadas parcelas experimentais com 8 m² de área útil (quatro linhas de 4 m de comprimento), que ocorreu no estágio fenológico V1-V2, nesta fase, também foi feita a avaliação do estande inicial de plantas, no período vegetativo e reprodutivo, foram realizados todos os tratos culturais exigidos para a cultura

A colheita foi realizada manualmente no dia 11 de março de 2024, no momento da colheita, a umidade das sementes foi de 12,9%, 12,1% e 13,7% para as zonas de manejo de alto, médio e baixo potencial, respectivamente. Para a determinação da produtividade, todas as plantas das áreas úteis demarcadas foram colhidas, trilhadas e subsequentemente tiveram sua massa de mil grãos determinada, com a umidade corrigida para o padrão de 13%.

2.3. Qualidade fisiológica das sementes de soja

Buscando homogeneidade das amostras, as sementes produzidas nos 48 pontos amostrais foram submetidas ao homogeneizador de canais do tipo Johnes, com 18 canais. Posteriormente, após este processo, foi realizada a classificação por diâmetro utilizando-se peneiras com abertura de 7.0, 6.5, 6.0, 5.5 e 5.0 mm. Cada uma das 48 amostras foi agitada separadamente por um período médio de um minuto, selecionando-se as sementes retidas na peneira 6.0 mm, para posteriormente realizar as análises de qualidade das sementes.

Foram realizados os seguintes testes para avaliação: teste de germinação (Brasil, 2025), teste de emergência (Krzyzanowski *et al.* 2020), teste de envelhecimento acelerado (Marcos-Filho, 2020), teste de condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$) (Vieira e Marcos-Filho, 2020)), e teste de comprimento de plântulas (Krzyzanowski *et al.* 2020).

Teste de germinação

Sementes dos 48 pontos amostrais foram submetidas ao teste de germinação, no qual produziu-se 4 rolos de papel contendo 50 sementes cada. Anteriormente a distribuição das sementes sob os papéis, umidificou-se os mesmos com água destilada, na proporção de 2,5 vezes o seu peso. Em seguida, foram confeccionados rolos contendo as sementes os quais foram acondicionados em sacos plásticos e alocados em uma câmara do tipo B.O.D. (Biochemical Oxygen Demand), à temperatura de 25 °C, sob fotoperíodo de 12 horas. A avaliação se deu pela metodologia da regra de análise sementes (RAS), realizando a contagem de plântulas normais no 8º (oitavo) dia, sendo os resultados expressos em porcentagem (%).

Teste de emergência

Utilizou-se para cada uma das 48 amostras uma bandeja de plástico preenchida com substrato de areia para cada tratamento, de forma a preencher cerca de 60% de sua capacidade. Após isso, foi realizada a semeadura a 2 cm de profundidade, onde as sementes ficaram dispostas em 4 repetições de 50 sementes por bandeja (Krzyzanowski *et al.* 2020). Posteriormente, as bandejas foram alocadas em casa de vegetação a temperatura ambiente, e periodicamente irrigadas com regadores comuns de 10L uma vez ao dia com 60% da capacidade de retenção de água. Foi realizada a avaliação no 7º (sétimo) dia, avaliando apenas plântulas normais, e o resultado foi expresso em porcentagem (%).

Teste de envelhecimento acelerado

Foram utilizadas caixas Gerbox como compartimento individual de cada um dos 48 tratamentos. No interior de cada recipiente colocou-se 40 mL de água destilada, e 200 sementes foram dispostas sobre tela metálica, de forma a estabelecer uma camada única, onde não havia sobreposição entre as sementes. Em seguida, as caixas foram tampadas e conduzidas para o interior de B.O.D. a 41 °C por 48 horas (Marcos-Filho, 2020). Posteriormente, foram realizados os testes de germinação com quatro repetições de 50 sementes cada, conforme Brasil (2025). Foi realizada no 5º (quinto) dia a avaliação de plântulas normais, e o resultado foi expresso em porcentagem (%).

Condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$)

O procedimento foi conduzido com quatro repetições de 50 sementes, por tratamento. As amostras foram inicialmente pesadas em balança analítica (0,001 g) e acondicionadas em copos plásticos de 200 mL, aos quais foram adicionados 75 mL de água deionizada. Subsequentemente, os copos plásticos foram conduzidos a câmara B.O.D., sob temperatura constante de 25 °C e ausência de luz, por um período de 24 horas. Ao final do período de embebição a solução contendo as sementes foi agitada para a homogeneização dos lixiviados e a determinação da condutividade elétrica foi efetuada imediatamente com condutivímetro MCA 150, com eletrodo constante 1, com os valores expressos em $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$.

Comprimento de plântulas

O procedimento foi submetido aos procedimentos adaptados da AOSA (1983) e descritos por Nakagawa (1999), com quatro repetições de 20 sementes por amostra. As sementes foram distribuídas em linha dupla, com espaçamento entre elas, de 10 sementes sobre duas folhas de papel de germinação, previamente umedecido com água destilada em volume equivalente a 2,5 vezes a massa do substrato seco. Subsequentemente, foram confeccionados rolos, que foram colocados em sacos plásticos para a manutenção da umidade. Os rolos foram então mantidos em câmara de germinação do tipo B.O.D., sob temperatura constante de 25 °C e fotoperíodo de 12 horas. No 3º (terceiro) dia, os rolos foram retirados das câmeras e abertos, em seguida, as plântulas de cada repetição foram alinhadas, de forma a não haver sobreposição de radícula e parte aérea, para captura de imagens por meio de telefone celular. As imagens foram analisadas e as medidas aferidas com o auxílio do *software* Vigor-S®, sendo obtido o comprimento total (parte aérea + parte radicular) das plântulas normais de cada repetição. Os resultados expressos em centímetros por plântula (cm plântula⁻¹).

2.4. ANÁLISE ESTATÍSTICA

A qualidade das sementes foi analisada por meio da estatística descritiva no *software* Excel®, determinando-se a amplitude (mínimo e máximo), média, mediana e o coeficiente de variação. A análise espacial foi conduzida por meio de técnicas geoestatísticas, utilizando o programa Surfer® para o ajuste de semivariogramas e a interpolação por krigagem (Vieira, 2000). Por fim, os mapas temáticos foram gerados no *software* QGIS (QGIS Development Team, 2015).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Variabilidade da qualidade de sementes de soja em função das zonas de manejo (ZM)

Com base na análise descritiva dos dados, foi possível observar diferenças entre os valores quantitativos mínimos e máximos dos testes de qualidade de sementes (Tabela 1). A qualidade fisiológica das sementes de soja é condicionada por uma interação

complexa de fatores bióticos e abióticos (Marcos-Filho, 2015). Aspectos físico-químicos do solo, a ocorrência de temperaturas elevadas e o estresse fisiológico da planta-mãe durante o estágio reprodutivo podem comprometer a integridade das sementes (Carvalho; Nakagawa, 2000). Adicionalmente, o déficit hídrico logo após a semeadura atua como um fator limitante para o estabelecimento inicial da cultura, influenciando negativamente os índices de vigor (Peske et al., 2012).

Tabela 1 - Análise descritiva realizada a partir dos resultados dos testes de germinação, envelhecimento acelerado, emergência, condutividade elétrica, comprimento de hipocótilo, raiz e total de sementes e plântulas de soja advindas de diferentes zonas de manejo.

Atributos Fisiológicos	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	C.V.(%)
Germinação (%)	52	97	89	91	9
Env. acelerado (%)	18	85	64	68	22
Emergência (%)	53	97	87	91	10
Cond. elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$)	80	193	120	115	22
Comp. hipocótilo (cm)	0,12	5,84	2,06	2,22	46
Comp. Raiz (cm)	0,03	8,71	2,91	3,02	60
Comp. Total (cm)	0,45	14	4,97	5,295	50

*C.V. (%): Coeficiente de variação, em %

Fonte: Acervo Pessoal.

Verifica-se que na Tabela 1 os menores coeficientes de variação (CV) foram para os atributos de Germinação (9%) e Emergência (10%). De acordo com os critérios de Pimentel-Gomes (2009), valores de CV abaixo de 10% são classificados como baixos, indicando alta homogeneidade e precisão experimental para essas variáveis. Em contraste, os maiores coeficientes de variação foram registrados para os atributos de crescimento, especificamente Comprimento de Raiz (60%), Comprimento Total (50%) e Comprimento de Hipocótilo (46%).

Esses índices elevados de CV nas variáveis de comprimento indicam uma heterogeneidade acentuada no desenvolvimento inicial das plântulas, o que pode ser reflexo das variações drásticas nos fatores bióticos e abióticos presentes nas diferentes zonas de manejo (Marcos-Filho, 2015). A variabilidade no crescimento radicular e de hipocótilo sugere que, embora a semente possua potencial germinativo, a expressão do

seu vigor é fortemente influenciada pelas condições microclimáticas e físico-químicas do solo onde está inserida (Carvalho; Nakagawa, 2000).

A proximidade observada entre os valores de média e mediana em atributos como Germinação (89% e 91%) e Emergência (87% e 91%) indica que os dados apresentam uma distribuição próxima à normalidade, sugerindo que a maioria das amostras se comporta de maneira similar em relação ao potencial de estabelecimento (Pimentel-Gomes, 2009). No entanto, é importante salientar que os resultados dos testes de vigor, como o Envelhecimento Acelerado e a Condutividade Elétrica, são mais sensíveis e por isso apresentaram CVs moderados de 22%.

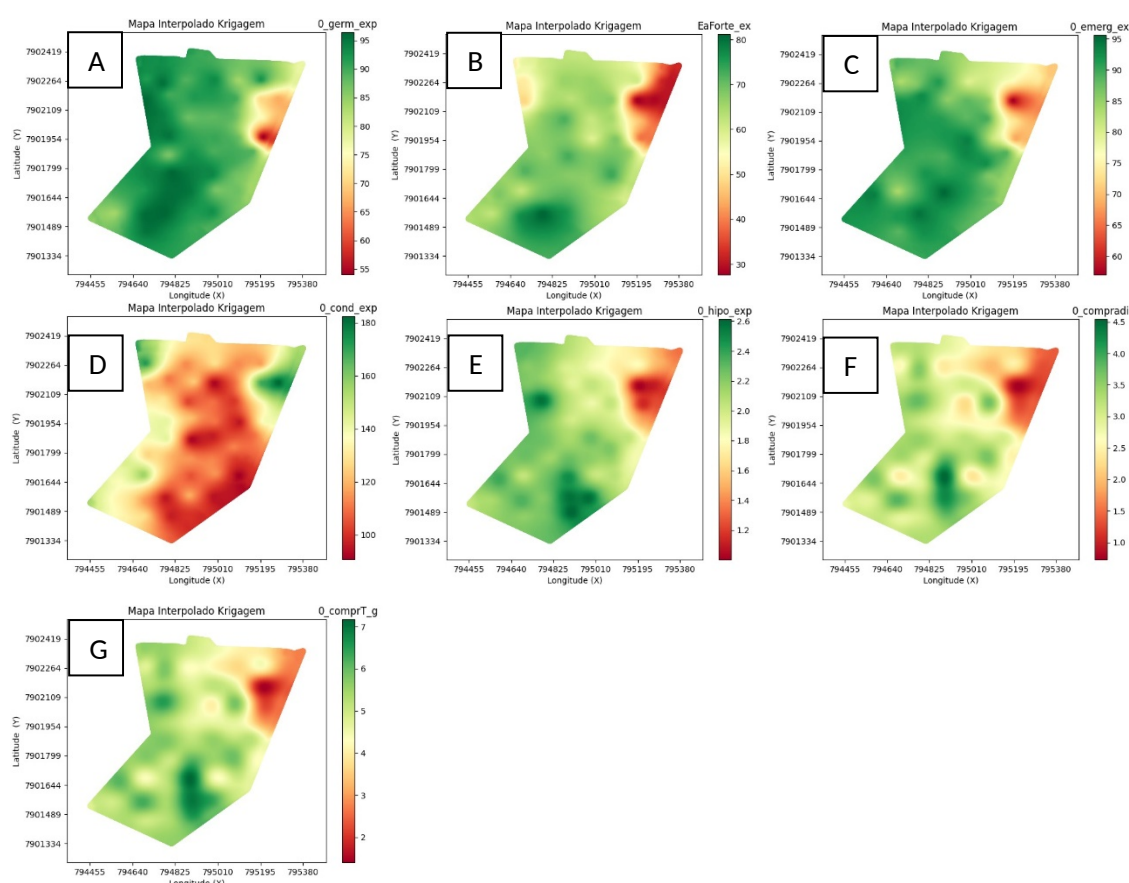
A amplitude verificada na Condutividade Elétrica (80 a $193 \mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$) é um indicativo importante da integridade dos sistemas de membranas celulares (Tabela 1). Segundo Marcos-Filho (2015), sementes com altos valores de lixiviação de solutos apresentam menor vigor, pois a desorganização das membranas é um dos indicadores do processo de deterioração, antecedendo a perda da capacidade germinativa. Assim, a variação observada nestes testes de vigor reforça a distinção qualitativa entre as sementes advindas das diferentes zonas de manejo, permitindo identificar áreas que favorecem ou prejudicam a estruturação fisiológica da semente de soja (Krzyzanowski et. al., 2020; Gazolla-Neto et. al., 2015).

A análise espacial do teste de germinação, obtida por meio da interpolação por krigagem, evidenciou uma acentuada heterogeneidade espacial na qualidade das sementes de soja (Figura 5A). Verificou-se que a maior parte da área apresenta germinação superior a 80%, valor mínimo para comercialização no território brasileiro de acordo com a Instrução Normativa nº 45 (Brasil, 2013), no entanto, o maior percentual de germinação foi de 97% caracterizando sementes de alta vigor (Tabela 1). Contudo, a identificação de uma região com desempenho fisiológico reduzido reforça a influência de fatores localizados, possivelmente relacionados a variações físico-químicas do solo ou microclima, que interferem na integridade das sementes durante o desenvolvimento no campo e após desligamento da planta-mãe (Marcos-Filho, 2015 Carvalho; Nakagawa, 2000).

A análise espacial dos dados de envelhecimento acelerado, representada no mapa da Figura 5B, revela uma distribuição heterogênea do vigor das sementes de soja, em função das zonas estudadas. Tal heterogeneidade é comum em campos de produção, onde o vigor das sementes apresenta maior sensibilidade às variações ambientais do que a germinação (Mattioni et al., 2011). O teste de envelhecimento acelerado (EA) é

fundamental em programas de controle de qualidade, pois simula condições adversas de armazenamento (alta temperatura e umidade relativa), permitindo identificar lotes com maior potencial de conservação e estabelecimento em campo (Marcos-Filho, 2015).

Figura 5 - Mapas espaciais interpolados por krigagem em ambiente Qgis a partir dos resultados dos testes de germinação (A), envelhecimento acelerado (B), emergência (C), condutividade elétrica (D), comprimento do hipocótilo (E), comprimento da radícula (F) e comprimento total (G) de sementes e plântulas de soja advindas de diferentes zonas de manejo.



Fonte: Acervo Pessoal.

A análise espacial do mapa referente à emergência de plântulas (Figura 5C) indicou que a região em vermelho, localizada na porção superior direita, apresentou menor emergência, evidenciando a existência de variabilidade espacial no desempenho fisiológico das sementes. Essa heterogeneidade pode estar associada a diferenças microambientais.

Ao comparar o mapa de EA (Figura 5B), emergência (Figura 5C) com o de condutividade elétrica (Figura 5D), nota-se uma correspondência espacial inversa, onde as zonas de baixo EA, emergência coincidem com as áreas de alta condutividade (acima

de $160 \mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$). Corrêa *et al.*, (2022) verificaram similaridade entre os mapas de envelhecimento acelerado, emergência e condutividade elétrica. Isso também confirma que a baixa performance nos testes de envelhecimento acelerado e emergência está diretamente ligada à desorganização das membranas celulares, resultando em maior lixiviação de solutos, conforme descrito pela teoria da deterioração de sementes (Marcos-Filho, 2015). Estudos de correlação indicam que esses dois testes são ferramentas complementares e eficazes na estratificação de vigor em soja (Matera et al. 2019).

A interpretação conjunta dos mapas interpolados demonstra uma convergência espacial de baixa qualidade na região superior direita do campo. Nessa zona, observa-se uma relação direta entre a redução na germinação (Figura 5A) e no envelhecimento acelerado (Figura 5B), com valores mínimos de 52% e 18%, respectivamente. Corroborando com esse diagnóstico, o mapa de condutividade elétrica (Figura 5D) exibiu coloração verde intensa nessa mesma localidade (máximo de $193 \mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$), indicando maior lixiviação de solutos devido à desorganização das membranas celulares sob condições de estresse.

Os mapas de comprimento de hipocótilo (Figura 5E), radícula (Figura 5F) e total (Figura 5G) apresentam padrões espaciais similares entre si, com a porção central e esquerda do campo exibindo colorações esverdeadas (maior vigor). A amplitude observada no comprimento total (0,45 a 14 cm) reflete como as condições microclimáticas da zona de manejo impactam o desenvolvimento inicial das plântulas. Conforme Mattioni et al. (2011) e Vergara et al. (2019) o uso de testes de vigor, somado ao mapeamento geoestatístico, permite um diagnóstico mais preciso da qualidade fisiológica, possibilitando distinguir regiões que produzem sementes de vigor superior mesmo quando a média geral do campo (89% de germinação) (Tabela 1) parece satisfatória.

Os mapas de comprimento de plântulas (Figura 5E, 5F e 5G) replicaram o padrão de variabilidade, com reduções significativas no desenvolvimento inicial nas mesmas áreas críticas, reforçando que o ambiente de produção possui impacto a estruturação das reservas da semente (Gazolla-Neto et al., 2015; Mondo et al., 2012). A proximidade entre média e mediana para a maioria dos atributos sugere uma distribuição próxima à normalidade estatística. No entanto, a espacialização dos dados via geoestatística comprova ser uma ferramenta superior ao manejo baseado apenas em médias globais, permitindo distinguir com precisão as regiões de vigor superior e inferior dentro do talhão (Mondo et al., 2012; Vieira, 2000).

A análise espacial da qualidade fisiológica das sementes revelou uma estreita correlação com as zonas de manejo previamente delimitadas, nelas observa-se que a variabilidade espacial do vigor e da viabilidade das sementes não ocorre de forma aleatória, mas acompanha o potencial produtivo das sub-regiões da área experimental. Na zona de alto potencial, representado em verde no centro da figura 1, os indicadores de qualidade atingiram seus níveis máximos, ressaltando os mapas de germinação (Figura 5A) e emergência (Figura 5C), apresentando valores predominantemente superiores a 80%. Esse comportamento sugere que ambientes com melhores condições químicas e físicas de solo favorecem não apenas o rendimento final, mas também a deposição de reservas e a integridade das membranas durante a maturação das sementes (Carvalho; Nakagawa, 2000).

Em contrapartida, na zona de baixo potencial, representada em vermelho no canto superior direito da figura 1, apresentou-se um decréscimo acentuado em todos os parâmetros fisiológicos. Ressalta-se principalmente as Figuras 5B, E, F e G (EA, comprimento de plântula radícula, hypocótilo e total), onde esses mapas exibiram manchas críticas em tons de vermelho e laranja, com índices de germinação e vigor significativamente inferiores aos das demais zonas.

Dessa forma, a integração entre a análise da qualidade de sementes e os mapas espaciais fundamenta a importância das zonas de manejo na produção de sementes. A identificação de áreas com elevados índices de deterioração, possivelmente causados por estresse fisiológico da planta-mãe ou condições edafoclimáticas adversas, permite a tomada de decisões assertivas, como o descarte de áreas degradadas ou a realização de colheita segregada para a obtenção de lotes com alta qualidade fisiológica (Gazolla-Neto et al., 2015).

4. CONCLUSÃO

Os atributos fisiológicos das sementes de soja apresentaram padrões de comportamento espacial distintos entre as zonas de manejo, evidenciando a heterogeneidade da qualidade fisiológica na área de produção. A geoestatística permitiu identificar e delimitar essas variações espaciais, confirmando a influência de fatores localizados sobre a distribuição da qualidade das sementes.

REFERÊNCIAS

ABIOVE – Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais. **Estatísticas**. São Paulo: Abiove, 2025. Disponível em <https://abiove.org.br/estatisticas>

BRASIL. Instrução Normativa nº 45, de 17 de setembro de 2013. Institui os Padrões para a produção e a comercialização de sementes. **Diário Oficial da União**: Seção 1, Brasília, DF, ano 181, p.16-38, 18 set. 2013. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/sementes-e-mudas/publicacoes-sementes-e-mudas/copy_of_INN45de17desetembrode2013.pdf.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para Análise de Sementes**. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA/ACS, 2009. 399p.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4. ed. Jaboticabal: Funep, 2000. 601 p.

CASTELLANOS, C. I. S.; GADOTTI, G. I.; MENEGHELLO, G. E.; CAVALCANTE, J. A.; PINHEIRO, R. M. Influence of spatial soil variability on productivity and physiological quality of soybean seeds. **Scientific Electronic Archives**, Sinop, v. 14, n. 1, p. 77-84, jan. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.18406/2316-1817v14n120221660>. Acesso em: 26 jan. 2026.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**: v. 13 - Safra 2025/26 - quarto levantamento. Brasília, DF: Conab, 2026. Disponível em: <https://www.conab.gov.br>.

CORRÊA, M.F. *et al.* Análise de variabilidade espacial e temporal em um campo de produção de sementes de soja e trigo. **Revista Cereus**, Gurupi v.13, n.4, p.182-194, 2021. <http://ojs.unirg.edu.br/index.php/1/article/view/3606>

CORRÊA, M. F. *et al.* Spatial variability of soil in soybean seed production and its yield components. **Diversitas Journal**, Alagoas, v. 7, n. 2, p. 542– 554, 2022. DOI: 10.48017/dj.v7i2.2058

EMBRAPA SOJA. **Cultura da soja**. Londrina, 2025. Disponível em: <https://www.embrapa.br/web/portal/soja/cultivos/soja1/historia>.

GAZOLLA-NETO, A. *et al.* Distribuição espacial da qualidade fisiológica de sementes de soja em campo de produção. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 28, n. 3, p. 119-127, jul./set. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-21252015v28n314rc>.

GOLDEN SOFTWARE. **Surfer plotting software information brochure**. Versão 10.1.561 (32-bit). Golden Software, 2011.

KRZYŻANOWSKI, F. C. et al. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. 2. ed. Londrina: Abrates, 2020.

MARCOS-FILHO, Júlio. Fisiologia de sementes de plantas cultivadas. Piracicaba: FEALQ, 2015. v. 12, 495p.

MATERA, T. C.; et al. **Correlação entre os testes de envelhecimento acelerado e condutividade elétrica em sementes de soja**. XI EPCC, 2019. UNICESUMAR. Disponível em: <http://rdu.unicesumar.edu.br/handle/123456789/4080>. Acesso em: 28 jan. 2026.

MATTIONI, N. M.; SCHUCH, L. O. B.; VILLELA, F. A.; ZEN, H. D.; MERTZ, L. M. Fertilidade do solo na qualidade fisiológica de sementes de soja. **Agrária - Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 8, n. 4, p. 656-661, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.5039/agraria.v8i4a3495>. Acesso em: 10 fev. 2026.

MATTIONI, N. M. et al. Variabilidade espacial da produtividade e da qualidade das sementes de soja em um campo de produção. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 33, n. 4, p. 608-615, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-31222011000400002>.

MONDO, V. H. V. et al. Spatial variability of soil fertility and its relationship with seed physiological potential in a soybean production area. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 34, n. 2, p. 193-201, 2012.

NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas. In: KRZYŻANOSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999. p.2.1-2.24

OLIVEIRA FILHO, M. A. **Variabilidade espacial de atributos de solo na qualidade fisiológica de sementes de soja tratadas e armazenadas**. 2024. 67 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2024. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/32298>. Acesso em: 26 jan. 2026.

OLIVEIRA FILHO, M. A. et al. Validation of Management Zones, Variability, and Spatial Distribution of the Physiological Quality of Soybean Seeds. **Plants**, Basel, v. 14, art. 1856, 2025. DOI: 10.3390/plants14121856. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants14121856>. Acesso em: 26 fev. 2026.

PESKE, S. T.; VILLELA, F. A.; MENEGHELLO, G. E. **Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos**. 3. ed. Pelotas: Editora Universitária UFPel, 2012. 573 p.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15. ed. Piracicaba: FEALQ, 2009. 451 p.

QGIS Development Team. **QGIS Geographic Information System**. OpenSource Geospatial Foundation Project. 2015.

SCHEEREN, B. R.; PESKE, S. T.; SCHUCH, L. O. B.; BARROS, A. S. A. Qualidade fisiológica e produtividade de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 32, n. 3, p. 35-41, 2010. DOI: 10.1590/S0101-31222010000300004. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0101-31222010000300004>. Acesso em: 11 fev. 2026.

TEIXEIRA, P. C. et al. Manual de métodos de análise do solo. 3. ed. Brasília DF: EMBRAPA, 2017. 577 p. ISBN: 978-85-7035-771-7.

VERGARA, R. O. GAZOLLA-NETO, A. GADOTTI, G. I. **Space distribution of soybean seed storage potential**. Rev. Caatinga, Mossoró, v. 32, n. 2, p. 399 – 410, abr. – jun., 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-21252019v32n213rc>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rcaat/a/mK5sX7smQvjvL7ZX3BmhMr/?lang=en>. Acesso em: 28 jan. 2026

VIEIRA, S. R. **Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo**. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (ed.). Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1, p. 1-54.

VIEIRA, R.D. et al. Teste de condutividade elétrica. In: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA-NETO, J.B, MARCOS FILHO, J. (Eds.). Vigor de sementes: conceitos e testes. Londrina: ABRATES, 2020. p.333-389.