

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**

**HELLEN PIZA MAZZI**

**Qualidade fisiológica de sementes de soja para diferentes populações e  
zonas de diferentes potenciais**

**UBERLÂNDIA  
2024**

HELLEN PIZA MAZZI

**Qualidade fisiológica de sementes de soja para diferentes populações e  
zonas de diferentes potenciais**

Trabalho de conclusão de curso de Agronomia  
apresentado ao Instituto de Ciências Agrárias  
da Universidade Federal de Uberlândia como  
exigência parcial para a obtenção do título de  
Engenheira Agrônoma

Orientador Prof. Dr. Sandro Manuel Carmelino  
Hurtado

**UBERLÂNDIA  
2024**

HELLEN PIZA MAZZI

Trabalho de conclusão de curso de Agronomia  
apresentado ao Instituto de Ciências Agrárias  
da Universidade Federal de Uberlândia como  
exigência parcial para a obtenção do título de  
Engenheira Agrônoma

Uberlândia, 01 de novembro de 2024

---

Prof. Dr. Sandro Manuel Carmelino Hurtado  
Orientador

---

Prof. Dr. Hugo César Rodrigues Moreira Catão  
Coorientador

---

Dr. Adílio de Sá Junior  
Membro da Banca

## AGRADECIMENTOS

Neste momento tão especial da minha vida, não poderia deixar de expressar minha profunda gratidão a todos que estiveram ao meu lado durante essa jornada acadêmica.

Em primeiro lugar, agradeço de coração aos meus pais, Elaine e Negmar. Vocês foram e continuam sendo meu porto seguro em todos os momentos. Sempre me apoiaram e me amaram por quem eu sou, sem tentar moldar minhas escolhas. A força que encontrei no amor e na confiança de vocês foi essencial para que eu enfrentasse cada desafio e chegasse até aqui. Não tenho palavras para expressar minha gratidão por tudo, amo vocês além desta vida.

Minhas irmãs, Louise e Mayra, meu sobrinho Enrico e meu cunhado Diego, saber que sempre posso contar com vocês é um conforto imenso. Obrigada por me receberem de braços abertos nos finais de semana e por estarem sempre prontos para me ajudar, independentemente da situação. A alegria e o carinho que vocês trazem à minha vida tornam cada dia mais leve e especial.

Também sou extremamente grata à minha família em geral — tia Marleide, tia Juce, Ricardo, Marina e tia Marli. Vocês sempre compreenderam minha ausência e me apoiaram incondicionalmente. Saber que tenho vocês como base foi fundamental para essa caminhada.

Aos meus tios Estefânia e Euclides, meu mais profundo agradecimento. Desde o início, vocês estiveram ao meu lado, me encorajando e fazendo de tudo para me ver feliz. Tio Euclides, sua influência na escolha do meu curso foi um verdadeiro presente, e sou eternamente grata por sua orientação e sabedoria, que me ajudaram a trilhar esse caminho.

Ao meu namorado, Vinicius, agradeço por seu apoio incansável. Obrigada por estar comigo, me encorajando e acreditando em mim. Sua presença fez toda a diferença no final dessa etapa.

Às minhas amigas-irmãs, Ana Júlia Dantas, Maria Eduarda Mendonça e Poliana Mattei, vocês foram minha família e meu suporte em Uberlândia. Sempre dispostas a me ajudar e a estar ao meu lado, sem a amizade de vocês, tenho certeza de que não teria conseguido superar os obstáculos e realizar este sonho.

E, por fim, um agradecimento especial aos meus orientadores, Hugo, Adilio e Sandro. Muito obrigada por acreditarem em mim e por me guiarem com tanta paciência e dedicação. A experiência de vocês foi essencial para o meu crescimento acadêmico e profissional.

A todos vocês, meu mais sincero agradecimento. Cada um de vocês fez parte da minha história e contribuiu para que eu chegasse até aqui. Esta conquista é nossa!

## RESUMO

A soja desempenha um papel fundamental na economia agrícola brasileira, tanto para a produção de grãos quanto para o comércio internacional. A qualidade das sementes e a adequação das práticas de manejo são essenciais para garantir a produtividade e o sucesso da cultura. Este estudo teve como objetivo avaliar a influência de diferentes densidades populacionais e zonas de manejo com variados potenciais produtivos na qualidade fisiológica das sementes de soja. O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental da Universidade Federal de Uberlândia, em um talhão de 48 hectares, os dados foram coletados utilizando uma malha amostral regular, com um ponto por hectare. As parcelas experimentais foram estabelecidas considerando duas densidades populacionais: 300.000 plantas por hectare (densidade recomendada) e 220.000 plantas por hectare (obtida por desbaste), enquanto as zonas de diferentes potenciais foram definidas com base no estande inicial de plantas no estágio V1-V2. A qualidade fisiológica das sementes foi avaliada por meio de testes de germinação, matéria seca, envelhecimento acelerado, condutividade elétrica e tetrazólio. Os resultados mostraram diferenças significativas nas variáveis de envelhecimento acelerado e tetrazólio de sementes com alto vigor, dependendo da densidade populacional e das zonas de manejo. Concluiu-se que a combinação de zonas de manejo com diferentes potenciais (alto, médio e baixo) e densidades populacionais (recomendada e desbastada) adequadas pode ser uma estratégia eficaz para melhorar a qualidade fisiológica das sementes de soja, otimizando a produção.

**Palavras-chave:** Agricultura de precisão; Variabilidade espacial; Vigor.

## ABSTRACT

Soybeans hold a fundamental position in Brazil's agricultural economy, both in grain production and international trade. Seed quality and the adequacy of management practices are essential to ensuring productivity and the success of the crop. This study aimed to evaluate the influence of different population densities and management zones with varying productive potentials on the physiological quality of soybean seeds. The experiment was conducted at the Experimental Farm of the Federal University of Uberlândia, in a 48-hectare field. Data collection followed a regular sampling grid with one point per hectare. Experimental plots were established considering two population densities: 300,000 plants per hectare (recommended density) and 220,000 plants per hectare (achieved by thinning). Management zones of differing productive potentials were defined based on the initial plant stand at the V1-V2 growth stages. Seed physiological quality was assessed using germination tests, dry matter analysis, accelerated aging, electrical conductivity, and tetrazolium tests. The results revealed significant differences in the variables of accelerated aging and tetrazolium for high-vigor seeds, depending on population density and management zones. It was concluded that combining management zones with varying potentials (high, medium, and low) and appropriate population densities (recommended and thinned) can be an effective strategy to improve the physiological quality of soybean seeds, thereby optimizing production.

**Keywords:** Precision agriculture; Spatial variability; Seed vigor.

## SUMÁRIO

|       |                                                             |    |
|-------|-------------------------------------------------------------|----|
| 1     | INTRODUÇÃO .....                                            | 8  |
| 2     | MATERIAL E MÉTODOS .....                                    | 9  |
| 2.1   | Definição de pontos amostrais e coleta de informações ..... | 9  |
| 2.2   | Instalação da cultura da soja a campo .....                 | 10 |
| 2.3   | Definição de zonas de diferentes potenciais .....           | 10 |
| 2.4   | Colheita .....                                              | 11 |
| 2.5   | Análise da qualidade de sementes de soja .....              | 11 |
| 2.5.1 | Teste de germinação .....                                   | 12 |
| 2.5.2 | Teste de envelhecimento acelerado .....                     | 13 |
| 2.5.3 | Teste de Matéria Seca .....                                 | 14 |
| 2.5.4 | Teste de Condutividade Elétrica .....                       | 14 |
| 2.5.5 | Teste de Tetrazólio .....                                   | 15 |
| 2.7   | Análise dos dados .....                                     | 16 |
| 3.    | RESULTADOS E DISCUSSÃO .....                                | 16 |
| 4     | CONCLUSÃO .....                                             | 22 |
|       | REFERÊNCIAS .....                                           | 23 |

## 1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* L.) representa um importante pilar na produção de grãos no país e no comércio internacional, com aumento expressivo na produção, consumo e exportação do grão (FPA, 2024). A expansão e a consolidação da soja brasileira são resultado de fatores que vão desde o preparo adequado do solo, práticas de manejo e cultivares, com destaque para a escolha de sementes de qualidade fisiológica superior ao padrão exigido.

A qualidade das sementes desempenha um papel fundamental no estabelecimento da lavoura. Sementes com baixo potencial fisiológico podem resultar em emergência desigual e menor vigor das plantas, impactando negativamente a produtividade e a qualidade dos grãos colhidos (FESSEL et al., 2010; MINUZZI et al., 2010).

O manejo do solo tem recebido destaque na obtenção de maiores produtividades do grão. A agricultura de precisão surge, nesse sentido, como importante ferramenta ao reconhecer a variabilidade dos atributos do solo (RESENDE et al., 2014) e da qualidade fisiológica das sementes (CATÃO; HURTADO, 2023). A partir desta ferramenta surge o conceito de zonas de manejo, onde subáreas do talhão apresentam semelhança para os atributos nelas avaliados, mas com tendência contrastante entre as subáreas do talhão. Assim, é possível adotar práticas de manejo de acordo com as exigências de cada área da lavoura (MILANI, 2006; ADAMCHUK et al., 2011). Essa abordagem não só contribui para a minimização de potenciais danos ao meio ambiente, como resulta em aumento da produtividade e qualidade fisiológica das sementes (TEY; BRINDAL, 2012).

A agricultura de precisão tem sido amplamente adotada no Brasil, com avanços significativos em tecnologias como GNSS (Sistema Global de Navegação por Satélite), drones e sensoriamento remoto, que permitem a coleta e análise detalhada de dados da lavoura. Essas tecnologias possibilitam a criação de mapas de produtividade, avaliação do estado nutricional das plantas e detecção de estresses hídricos e ataques de pragas (INSTITUTO AGRO, 2024). Além disso, a aplicação de insumos em taxa variável, baseada em dados georreferenciados, tem mostrado ganhos significativos na produtividade e redução de custos (REVISTA CULTIVAR, 2024).

A densidade populacional das plantas de soja desempenha, por sua vez, papel crucial no sucesso da cultura. Esta pode influenciar diretamente a arquitetura das plantas, o desenvolvimento do sistema radicular e, por consequência, a produtividade e a qualidade das sementes. Uma densidade populacional inadequada pode resultar em

competição excessiva por recursos, comprometendo o potencial produtivo da cultura (RAMOS JÚNIOR et al., 2020). Estudos recentes demonstram que a utilização de AP para ajustar a densidade populacional de acordo com as zonas de manejo pode otimizar o uso de recursos e melhorar a qualidade fisiológica das sementes (AGROADVANCE, 2024).

Considerando a importância em se obter sementes com qualidade fisiológica, este trabalho tem por objetivo avaliar a interação entre a densidade populacional e as zonas de diferentes potenciais do talhão em relação à qualidade fisiológica de sementes de soja.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido na Fazenda Experimental do Glória, na Universidade Federal de Uberlândia, em Uberlândia, MG (18°54'41"S, 48°15'44"O), em área de produção de grãos sob sequeiro, com altitude média de 920 m, clima tipo Aw (tropical quente e úmido com inverno frio e seco), e precipitação média anual de 1.342 mm.

### 2.1 Definição de pontos amostrais e coleta de informações

O estudo foi realizado em um talhão de 48 hectares, onde foram coletados dados seguindo uma malha amostral regular de 100 x 100 m entre pontos. A definição dos pontos de coleta foi realizada utilizando o programa de informações geográficas QGIS (QGIS Development Team, 2015). Para garantir a precisão na localização dos pontos de coleta a campo foi utilizado o GNSS de navegação Garmin eTrex Vista e o aplicativo Avenza Maps (Figura 1).



**Figura 1.** Área experimental e malha de amostragem com 48 pontos. Área experimental e malha de 48 pontos amostrais. Fonte: Ventavoli (2023).

## 2.2 Instalação da cultura da soja a campo

A cultura da soja foi instalada, em plantio direto, com semeadura da cultivar HO Aporé IPRO (grupo de maturação 7.3, hábito indeterminado), em 28 de outubro de 2022. A semeadura seguiu o espaçamento entre linhas de 0,5 m, e densidade final de 15 plantas por metro linear.

## 2.3 Definição de zonas de diferentes potenciais

A definição das zonas foi realizada a partir da avaliação da variabilidade espacial do estande inicial (V2) de plantas de soja. Esse estágio foi escolhido por representar as condições iniciais da cultura. A partir do mapa de estande inicial foi possível classificar a área em regiões com diferentes estabelecimentos iniciais de plantas de soja (Figura 2). As regiões com o maior, intermediário e menor estande inicial de plantas foram classificadas como zonas de alto, médio e baixo potencial, respectivamente, conforme descrito em trabalho desenvolvido por Piassa (2023).

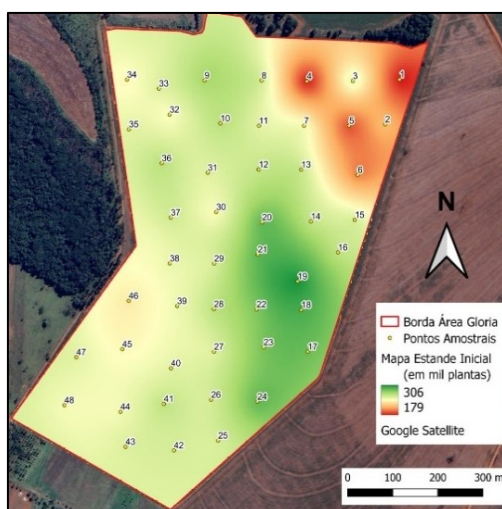


**Figura 2.** Mapa de estande inicial de plantas de soja (V2) usado para direcionar zonas de diferentes potenciais (vermelho: baixo; amarelo: médio; verde: alto potencial). Fonte: Ventavoli (2023).

Com o trabalho foi avaliado a interação de três zonas com diferentes potenciais e duas populações de plantas. As populações foram: a recomendada para a cultivar, com 300.000 plantas/ha (população 1) e uma população com redução de 25% na quantidade recomendada, resultando em 220.000 plantas/ha, definida por desbaste (população 2) (Figura 3). O manejo da lavoura seguiu as recomendações para a cultura.



**Figura 3.** Instalação das Parcelas Experimentais. Fonte: Grupo GeAP.

## 2.4 Colheita

A colheita das sementes de soja foi realizada manualmente em 27 de fevereiro de 2023, totalizando 122 dias após a semeadura. Considerou-se uma área útil de 8 m<sup>2</sup>, composta por quatro linhas de plantio, espaçadas 0,5 m e com quatro metros de comprimento. Após a colheita, o material foi trilhado, disposto em sacos de papel e levado para análise no Laboratório de Sementes da UFU – LASEM (Figura 4).



**Figura 4.** Parcela experimental com área útil de 8 m<sup>2</sup> (A), material após a colheita manual (B), trilha (C) e sementes em sacos de papel no Laboratório LASEM (D). Fonte: Grupo GeAP.

## 2.5 Análise da qualidade de sementes de soja

As análises das sementes foram conduzidas no Laboratório de Sementes da Universidade Federal de Uberlândia (LASEM-UFU). Visando a determinação da qualidade fisiológica das sementes, foram realizados os testes de germinação, matéria seca, envelhecimento acelerado, condutividade elétrica e tetrazólio.

Prévio a preparação das amostras e realização dos testes, as sementes foram passadas em peneiras para padronizar e selecionar as que atendiam ao tamanho comercial, sendo escolhidas as retidas nas peneiras de 6,0 e 6,5 mm (Figura 5).



**Figura 5.** Peneiras utilizadas na seleção de sementes de soja. Fonte: Acervo pessoal.

Para a preparação das amostras, foram pesadas 150 gramas de sementes provenientes de cada uma das parcelas, que posteriormente foram homogeneizadas de acordo as zonas (alto, médio e baixo potencial) e densidades populacionais (recomendada e desbastada), totalizando seis amostras.

### **2.5.1 Teste de germinação**

Para o teste em papel foram utilizadas quatro repetições com 50 sementes em cada tratamento. As sementes foram submetidas a germinação a 25°C, com fotoperíodo, por um período de 8 dias visando determinar o número de plântulas normais e anormais (Figura 6). Os testes foram realizados conforme a Regra de Análise de Sementes (RAS) Brasil (2009), sendo a contagem final de germinação no oitavo dia, sendo os resultados expressos em porcentagem.



**Figura 6.** Germinação em papel (A), plântulas anormais (B) e normais (C). Fonte: acervo pessoal.

### 2.5.2 Teste de envelhecimento acelerado

O teste de envelhecimento acelerado, desenvolvido por Delouche (1965), teve como objetivo avaliar o potencial de armazenamento das sementes. Este princípio de envelhecimento exige que a taxa de deterioração das sementes seja grandemente acelerada quando as sementes são expostas a altas temperaturas e umidade relativa. Assim, a diminuição da viabilidade das amostras é mais pronunciada quando expostas às condições experimentais.

O teste foi conduzido utilizando caixas plásticas tipo gerbox adaptadas, preenchidas com 40 mL de água destilada. As sementes foram colocadas sobre uma tela metálica dentro das caixas, que foram mantidas fechadas (Figura 7). Após a preparação, as amostras foram colocadas em câmara tipo BOD, a 41°C (Krzyzanowski et al. 2020). Após 48 horas, as sementes foram submetidas ao teste de germinação no germinador modelo mangelsdorf, a 25°C. Após 5 dias, foram avaliadas as plântulas normais.



**Figura 7.** Teste de envelhecimento acelerado. Fonte: acervo pessoal.

### 2.5.3 Teste de Matéria Seca

O teste de matéria seca foi realizado coletando as plântulas germinadas no teste de germinação e pesadas para obtenção da massa seca de plântulas normais. Para isso, os cotilédones foram retirados e as amostras foram colocadas em estufa de circulação de ar forçado, a 65°C, para avaliação da matéria seca após 72 horas, onde ocorreu o peso constante (Figura 8).

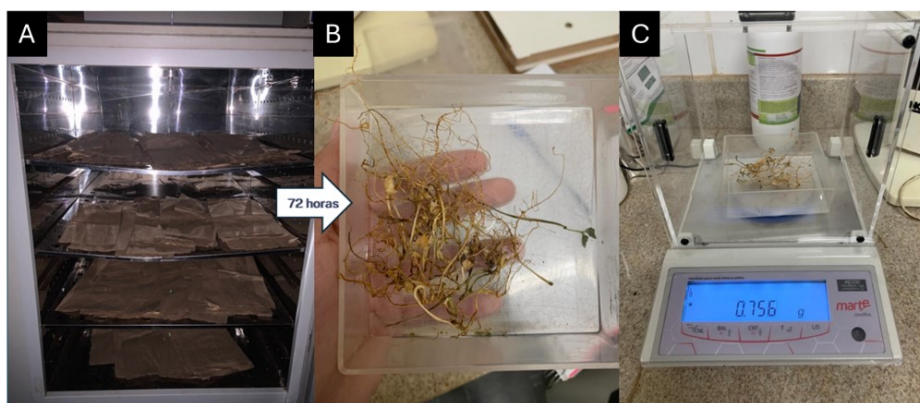


**Figura 8.** Teste de matéria seca: amostras na estufa (A), amostras após 72 horas (B) e pesagem da matéria seca (C). Fonte: Grupo GeAP

### 2.5.4 Teste de Condutividade Elétrica

O princípio do teste é a relação entre a viabilidade e a integridade das membranas celulares, determinando a quantidade de íons lixiviados na solução de embebição (Krzyzanowski et al. 2000). O teste foi conduzido utilizando copos plásticos com capacidade de 200 ml com quatro repetições de 50 sementes cada, pesados em balança analítica para a realização dos cálculos. Em cada copo foram adicionados 75 mL de água deionizada, e levados para acondicionamento em câmara BOD, a 25°C, sem luz, por 24 horas. As leituras foram realizadas com auxílio de um condutivímetro após a embebição das sementes (Figura 9B). O cálculo da condutividade elétrica foi realizado a partir da equação:

$$CE(\mu S \cdot cm^{-1} \cdot g^{-1}) = \frac{L - B}{P}$$

Onde:

CE: Condutividade elétrica

L: Leitura da amostra no condutivímetro, em  $\mu S/cm/g$

B: Leitura do branco, em água deionizada, em  $\mu S/cm/g$

P: Peso da amostra em gramas.

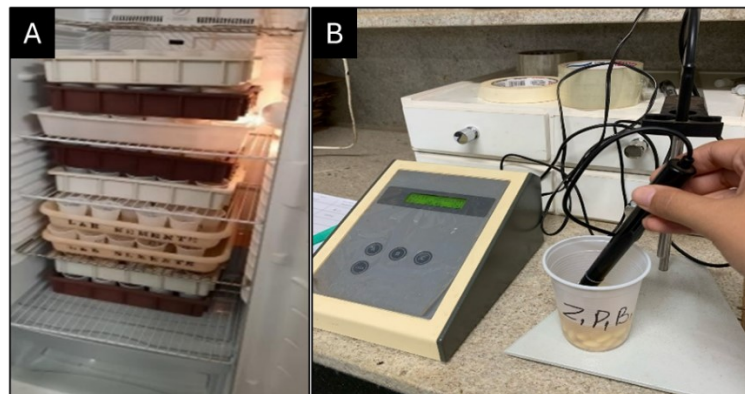


**Figura 9.** Teste de Condutividade Elétrica: acondicionamento (A) e leitura (B) das amostras. Fonte: Grupo GeAP.

### 2.5.5 Teste de Tetrazólio

O teste de tetrazólio foi utilizado para avaliar a viabilidade das sementes. Inicialmente, as sementes foram colocadas em contato com papel de germinação por 16 horas. Em seguida, as amostras foram separadas em copos plásticos, com quatro repetições de 50 sementes em cada copo, totalizando 200 sementes. As amostras foram então imersas em uma solução de 2,3,5-trifenil cloreto de tetrazólio a 0,075% por três horas.

Na sequência, foram realizadas avaliações visuais das sementes com base na coloração resultante da reação com o tetrazólio. As sementes foram classificadas em três categorias de vigor: categoria 1, para sementes com poucos ou nenhum dano; categoria 2, para sementes com danos médios; e categoria 3, para sementes com danos severos. Durante a análise, as sementes mortas foram identificadas e descartadas, não sendo contabilizadas (Figura 10).

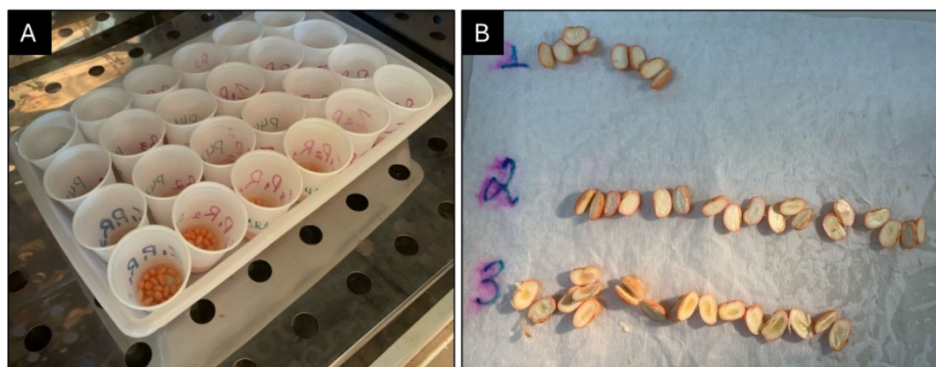


**Figura 10.** Sementes de soja colocadas em solução de 2,3,5 trifenil cloreto de tetrazólio após a reação (A) e classificação das sementes de soja com nota 1 (poucos ou nenhum dano), nota 2 (danos médios) e nota 3 (danos severos) (B). Fonte: acervo pessoal.

## 2.7 Análise dos dados

Os dados obtidos das análises de qualidade das sementes foram analisados pela análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de significância, com auxílio programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011).

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As médias obtidas para os testes de qualidade fisiológica das sementes, de acordo as populações e zonas de diferentes potenciais, são apresentados na Tabela 1. Os baixos valores de germinação, com médias de 84% para a população recomendada e 79% para a população desbastada, provavelmente se devem às altas temperaturas (mínima de 20°C e máxima de 32°C) e à falta de chuvas no período de enchimento dos grãos (Figura 11), tendo em vista que a cultura da soja necessita de temperaturas amenas e disponibilidade de água para o bom desenvolvimento e qualidade das sementes (FARIAS et al., 2007). As sementes classificadas como mortas no teste de tetrazólio foram descartadas e não contabilizadas no percentual total.

**Tabela 1.** Média dos valores obtidos nos testes de qualidade de semente de soja obtidas para as zonas de diferentes potenciais e populações testadas. Uberlândia-MG, 2024.

| Testes de Qualidade de Semente                              | População Recomendada |       |      |       | População Desbastada |       |      |       |
|-------------------------------------------------------------|-----------------------|-------|------|-------|----------------------|-------|------|-------|
|                                                             | Zona de Potencial     |       |      |       | Zona de Potencial    |       |      |       |
|                                                             | Baixo                 | Médio | Alto | Média | Baixo                | Médio | Alto | Média |
| Germinação (%)                                              | 79,0                  | 83,0  | 90,0 | 84,0  | 74,0                 | 82,0  | 81,0 | 79,0  |
| Envelhecimento Acelerado (%)                                | 81,0                  | 84,5  | 87,7 | 84,4  | 71,0                 | 84,2  | 88,7 | 81,3  |
| Matéria seca (g)                                            | 5,0                   | 5,0   | 5,2  | 5,1   | 4,6                  | 5,4   | 4,7  | 4,9   |
| Condutividade elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}/\text{g}$ ) | 66,9                  | 60,5  | 64,0 | 63,8  | 67,4                 | 67,15 | 74,9 | 69,8  |
| Tetrazólio 1 (%) - Alto Vigor                               | 40,0                  | 23,0  | 41,0 | 34,7  | 35,0                 | 35,0  | 30,0 | 33,3  |
| Tetrazólio 2 (%) - Médio Vigor                              | 36,0                  | 44,0  | 36,0 | 38,7  | 40,0                 | 31,0  | 34,0 | 35,0  |
| Tetrazólio 3 (%) - Baixo Vigor                              | 15,0                  | 25,0  | 15,0 | 18,3  | 17,0                 | 26,0  | 28,0 | 23,7  |

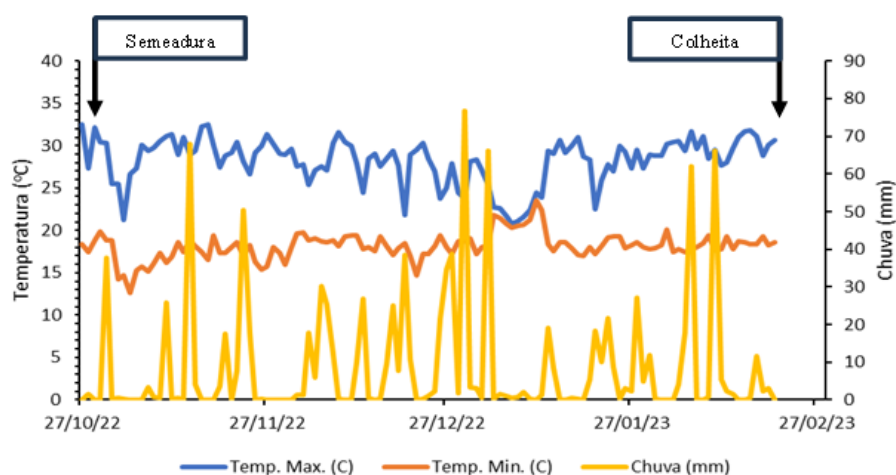


**Figura 11.** Precipitação pluviométrica (mm), temperaturas (°C) máximas e mínimas no período de produção das sementes de soja. Uberlândia, Minas Gerais (28/10/2022 à 27/02/2023).

Além disso, o genótipo, as condições climáticas durante a época de enchimento das sementes, o momento da colheita e após a colheita podem interferir na qualidade final das sementes.

Ao analisar as percentagens de sementes germinadas, observa-se que nessa variável não houve diferenças significativas. Independentemente da população e da zona de potencial analisada, não houve diferença estatística quanto ao teste de germinação. (Tabela 2). Os resultados do presente estudo corroboram o descrito por Nunes (2021), onde não foi encontrada interação significativa entre zonas de manejo e densidades populacionais para o teste de germinação. Reforçando que, para algumas variáveis, a influência desses fatores pode ser menos expressiva.

**Tabela 2.** Germinação (%) das três zonas de potencial e duas densidades populacionais de plantas. Uberlândia- MG, 2023.

| Populações  | Zonas de diferentes potenciais |       |      |       |
|-------------|--------------------------------|-------|------|-------|
|             | Baixa                          | Média | Alta | Média |
| Recomendada | 79,0                           | 83,0  | 90,0 | 84,0  |
| Desbastada  | 74,0                           | 82,0  | 81,0 | 79,0  |
| Média       | 76,5                           | 82,5  | 85,5 |       |

Médias com letras distintas maiúscula na linha e minúscula na coluna, diferem estatisticamente entre si para o teste de Tukey, a 5% de significância.

Segundo Coimbra et al. (2007), os testes de germinação servem para comparar a qualidade fisiológica de lotes, determinar a taxa de semeadura. De acordo com a Instrução Normativa (IN) nº 45, de 17 de setembro de 2013, publicada pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), são estabelecidos os padrões de identidade e qualidade para a produção e comercialização de sementes de grandes culturas. Entre os critérios de qualidade, a normativa determina que o valor mínimo de germinação para sementes de classes comerciais deve ser de 80%, conferindo a esse parâmetro um papel fundamental na avaliação da qualidade das sementes. Dessa forma, pode-se observar que sementes provenientes da zona de baixo potencial não atingiram esse valor, resultado semelhante ao observado por Santos (2021), que ao avaliar três populações e duas áreas de potencial (alto e baixo) constatou que as sementes provenientes de áreas de baixo potencial não atingiram a percentagem estabelecida. Esses resultados sugerem que a análise espacial do potencial germinativo pode ser uma ferramenta eficaz para assegurar maior qualidade fisiológica das sementes.

Para o teste de envelhecimento acelerado, os valores encontrados demonstraram diferenças significativas, sendo encontrado o menor valor na zona de menor potencial desbastada (Tabela 3).

**Tabela 3.** Envelhecimento acelerado (%) provenientes das três zonas de potencial e duas densidades populacionais de plantas. Uberlândia- MG, 2023.

| Populações  | Zonas de Potencial |         |        |       |
|-------------|--------------------|---------|--------|-------|
|             | Baixa              | Média   | Alta   | Média |
| Recomendada | 81,0Ba             | 84,5ABa | 87,7Aa | 84,4  |
| Desbastada  | 70,7Bb             | 84,2Aa  | 88,6Aa | 81,1  |
| Média       | 75,8               | 84,3    | 88,1   |       |

Médias com letras distintas maiúscula na linha e minúscula na coluna, diferem estatisticamente entre si para o teste de Tukey a 5% de significância.

Os dados (Tabela 3) demonstram a capacidade da soja em se adaptar a diferentes densidades populacionais devido a plasticidade. Na zona de alto potencial, as sementes de soja de ambas as populações (recomendada e desbastada) não diferiram pelo envelhecimento acelerado. A planta quando encontra melhores condições para seu desenvolvimento consegue se ajustar as diversas populações (Santos, 2021). No entanto, na zona de baixo potencial, as sementes provenientes da população desbastada apresentaram qualidade inferior. Esses resultados são consistentes com os achados de Santos (2021), ao relatar que em áreas de alto potencial, a qualidade das sementes foi mantida, independentemente da densidade populacional, enquanto em áreas de baixo potencial, a qualidade das sementes foi significativamente inferior.

Segundo Panobianco e Marcos Filho (2001) o teste de envelhecimento acelerado avalia a resposta da semente quanto a condições externas ligadas a temperatura e umidade. Assim, para a zona de baixo potencial, é possível levantar a hipótese que as diferenças encontradas sejam atribuídas a influência dessas condições quando avaliadas as diferentes populações.

Quanto ao teste de matéria seca das amostras analisadas, não foi verificada diferença estatística significativa (Tabela 4).

O estudo da massa da matéria seca de sementes é importante, pois ao se retirar a porcentagem de água presente na estrutura da planta, tem-se a fixação nos tecidos pela assimilação das reservas para o desenvolvimento da planta. Para esta variável não houve interferência quando utilizadas diferentes populações e zonas de potencial. Pode-se supor que a plasticidade da planta permitiu que, mesmo em ambientes menos favoráveis, a alocação de biomassa fosse similar entre as populações e zonas. Além disso, fatores como o clima e a disponibilidade de nutrientes podem ter influenciado de forma homogênea o acúmulo de massa seca, reduzindo variações.

**Tabela 4** Matéria seca (g) de plântulas de soja provenientes de três zonas de manejo e duas densidades populacionais de plantas. Uberlândia-MG, 2023.

| Populações  | Zonas de Potencial |       |      |       |
|-------------|--------------------|-------|------|-------|
|             | Baixa              | Média | Alta | Média |
| Recomendada | 1,28               | 1,31  | 1,36 | 1,31  |
| Desbastada  | 1,26               | 1,15  | 1,19 | 1,19  |
| Média       | 1,27               | 1,23  | 1,27 |       |

Médias com letras distintas maiúscula na linha e minúscula na coluna, diferem estatisticamente entre si para o teste de Tukey a 5% de significância

O teste de condutividade elétrica fundamenta-se no fato que as sementes, quando colocadas para embeber água, exsudam íons, açúcares e metabólitos, especialmente no início do processo. Com o passar do tempo de embebição, ocorre a reorganização de suas estruturas, se estabilizando. Em sementes deterioradas, esse mecanismo ou velocidade de reorganização está ausente ou é ineficiente (BEWLEY e BLACK, 1994). O teste mede, dessa maneira, a integridade das membranas celulares das sementes, e maiores valores indicam uma maior deterioração das sementes, conforme destacado por Krzyzanowski et al. 2020.

Não houve diferença significativa para essas variáveis avaliadas (Tabela 5). Esse resultado pode ser explicado pela uniformidade na integridade das membranas celulares das sementes, independentemente das diferentes zonas de manejo e populações testadas. Mesmo em condições variadas, a qualidade geral das sementes pode não ter sido suficiente para iniciar o processo de deterioração.

**Tabela 5.** Condutividade elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}/\text{g}$ ) de sementes de soja provenientes de três zonas de manejo e duas densidades populacionais de plantas. Uberlândia-MG, 2023.

| Populações  | Zonas de Potencial |       |      |       |
|-------------|--------------------|-------|------|-------|
|             | Baixa              | Média | Alta | Média |
| Recomendada | 66,9               | 60,5  | 63,9 | 63,8  |
| Desbastada  | 67,4               | 67,1  | 74,9 | 69,8  |
| Média       | 67,1               | 64,8  | 69,4 |       |

Médias com letras distintas maiúscula na linha e minúscula na coluna, diferem estatisticamente entre si para o teste de Tukey a 5% de significância.

O teste de tetrazólio se baseia na caracterização dos tecidos vivos da semente e permite identificar danos existentes nas sementes que podem reduzir a qualidade fisiológica. Segundo França Neto (2018), essa técnica é uma ferramenta estratégica para gestão da qualidade fisiológica da semente no processo de produção como um todo.

Para este teste, foram observadas diferenças estatísticas entre as populações e zonas de diferentes potenciais para as porcentagens de sementes com alto vigor (TZ1). Observou-se que, as sementes provenientes da zona de alto e baixo potencial, independentemente da população, apresentaram as maiores porcentagens para a categoria de alto vigor (TZ1), indicando alta capacidade de adaptação das plantas a diferentes populações e condições de solo.

Contraditoriamente, pode-se observar que a zona de médio potencial apresentou um desempenho inferior às demais para a população recomendada (23%). Esse resultado pode ser explicado devido a fatores externos, como incidência de danos umidade,

percevejo e mecânico, que podem ter influenciado na redução no TZ1 apenas na zona de médio potencial e população recomendada. Para o teste de tetrazólio de médio vigor (TZ2) e o teste de tetrazólio de baixo vigor (TZ3), não foi observada diferença estatística entre as variáveis avaliadas. Ressalta-se que a avaliação foi realizada tomando como base o percentual de sementes classificadas como vivas, como descrito na metodologia.

**Tabela 6.** Médias das porcentagens do Tetrazólio 1 (TZ1-Alto vigor), Tetrazólio 2 (TZ2-Médio vigor) e Tetrazólio 3 (TZ3-Baixo vigor), de sementes de soja provenientes de três zonas de manejo e duas densidades populacionais de plantas. Uberlândia-MG, 2023.

| <b>TZ1 - Alto Vigor (%)</b>  |                          |              |             |              |
|------------------------------|--------------------------|--------------|-------------|--------------|
| <b>População</b>             | <b>Zona de Potencial</b> |              |             | <b>Média</b> |
|                              | <b>Baixa</b>             | <b>Média</b> | <b>Alta</b> |              |
| Recomendada                  | 40Aa                     | 23Ba         | 41Aa        | 34,7         |
| Desbastada                   | 35Aa                     | 35Ab         | 30Aa        | 33,3         |
| Média                        | 37,5                     | 29           | 35,5        |              |
| <b>TZ2 - Médio Vigor (%)</b> |                          |              |             |              |
| <b>População</b>             | <b>Zona de Potencial</b> |              |             | <b>Média</b> |
|                              | <b>Baixa</b>             | <b>Média</b> | <b>Alta</b> |              |
| Recomendada                  | 36                       | 44           | 36          | 38,7         |
| Desbastada                   | 40                       | 31           | 34          | 35           |
| Média                        | 38                       | 37,5         | 35          |              |
| <b>TZ3 – Baixo Vigor (%)</b> |                          |              |             |              |
| <b>População</b>             | <b>Zona de Potencial</b> |              |             | <b>Média</b> |
|                              | <b>Baixa</b>             | <b>Média</b> | <b>Alta</b> |              |
| Recomendada                  | 15                       | 25           | 15          | 18,3         |
| Desbastada                   | 17                       | 26           | 28          | 23,7         |
| Média                        | 16                       | 25,5         | 21,5        |              |

Médias com letras distintas maiúscula na linha e minúscula na coluna, diferem estatisticamente entre si para o teste de Tukey a 5% de significância.

Ao analisar todos os testes de forma geral, foi possível observar diferenças entre os resultados do teste de tetrazólio (TZ1) e o teste de envelhecimento acelerado para a zona de baixo potencial. Essa diferença pode ser explicada pela natureza distinta de cada teste, enquanto o teste de tetrazólio foca na viabilidade imediata das sementes, o teste de envelhecimento acelerado avalia a resistência ao estresse ao longo do tempo.

Assim, é possível inferir que as sementes advindas da zona de baixo potencial, apesar de apresentarem alta viabilidade inicial, demonstraram menor resistência ao envelhecimento, devido possivelmente, a fatores ambientais adversos que afetam a durabilidade das sementes. Este contraste destaca a importância de considerar vários aspectos da qualidade das sementes ao avaliar seu desempenho em diferentes condições.

Visando avaliar a viabilidade de se aplicar zonas de potencial na produção de soja a campo, Fioresi (2019) observou que a qualidade do ambiente é fator determinante para a expressão do potencial da semente. Santos (2021) e Nunes (2021) concluíram que sementes de maior qualidade fisiológica estão presentes em zonas de alto potencial com maior densidade populacional. Esses trabalhos corroboram em parte com os resultados do presente estudo, onde foi observado que sementes com alto vigor advém de zonas de alto e médio potencial, porém não sendo possível observar diferenças entre populações.

Mattioni, Schuch e Villela (2021), ao analisar a variabilidade espacial de produtividade e qualidade de sementes, concluíram que semeaduras, sem considerar os fatores associados ao mapeamento, geram desuniformidade a campo, levando a diferenças em produtividade de até 1.500 kg/ha. A informação permite a tomada de decisão prévia quanto à população final almejada, como o emprego de sementes de qualidade.

A partir da análise de variabilidade espacial, é possível realizar o manejo adequado da taxa de sementes (Coelho, 2005), promovendo a variação em função de locais com diferente potencial, reforçando a importância na tomada de decisões quanto à obtenção da melhor qualidade de sementes.

Os dados permitem avaliar a interação entre a densidade populacional e as zonas de diferentes potenciais do talhão em relação à qualidade fisiológica de sementes, permitindo diferenciar as sementes quanto ao seu vigor.

Portanto, a análise espacial atrelada ao uso de diferentes populações é fundamental para maximizar a qualidade das sementes, contribuindo para práticas agrícolas mais sustentáveis e eficientes.

#### **4 CONCLUSÃO**

Há interação entre zonas de manejo e densidades populacionais na qualidade fisiológica das sementes de soja, sendo o teste de envelhecimento acelerado o mais eficiente para evidenciar diferenças de vigor entre os tratamentos.

Esses resultados reforçam a importância de ajustar o manejo conforme o potencial da área para melhorar a qualidade das sementes em diferentes condições.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA FPA. 2024. **Para Lupion, FPA precisa ser ouvida na construção do plano safra.** Disponível em: <<https://agencia.fpagropecuaria.org.br/2024/06/04/para-lupion-fpa-precisa-ser-ouvida-na-construcao-do-plano-safra/>> Acesso em: 10 abr. 2024.

MINUZZI, A.; BRACCINI, A.L.; RANGEL, M.A.S.; SCAPIM, C.A.; BARBOSA, M.C.; ALBRECHT, L.P. **Qualidade de sementes de quatro cultivares de soja, colhidas em dois locais no estado do Mato Grosso do Sul.** Revista Brasileira de Sementes. Londrina, v. 32, n. 1, p. 176-185, 2010.

RESENDE, A. V.; HURTADO, S. M. C.; VILELA, M. F.; CORAZZA, E. C.; SHIRATSUCHI, L.S. **Aplicações da agricultura de precisão em sistemas de produção de grãos no Brasil.** In: BERNARDI, A. C. C.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (ed.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar.** Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 194-208.

CATÃO, H. C. R. M.; HURTADO, S. M. C. **Chemical treatment and storage of sorghum seeds produced in different management zones.** J. Seed Sci. v. 45, 2023.

MILANI, L.; SOUZA, E.; URIBE, O.; MIGUE, F.; ANTONIO, J.; JERRY, P. **Unidades de manejo a partir de dados de produtividade.** Acta Scientiarum Agronomy, v. 28, n. 4, p. 545-559, 2006.

ADAMCHUK, V. I.; VISCARRA ROSSEL, R. A.; MARX, D. B.; SAMAL, A. K. **Using targeted sampling to process multivariate soil sensing data.** Geoderma, v.163, n. 1-2, p.63-73, 2011.

TEY, Y. S.; BRINDAL, M. **Factors influencing the adoption of precision agricultural technologies: a review for policy implications.** Precision Agriculture, v. 13, n. 6, p. 713-730, 2012.

INSTITUTO AGRO. **Agricultura de precisão.** 2024. Disponível em: <<https://institutoagro.com.br/agricultura-de-precisao/>> Acesso: 03 set. 2024.

REVISTA CULTIVAR. **Como a agricultura de precisão está transformando a produção brasileira.** 2024. Disponível em: <<https://revistacultivar.com.br/artigos/como-a-agricultura-de-precisao-esta-transformando-a-producao-brasileira>> Acesso: 03 set. 2024.

RAMOS JUNIOR, E. U.; RAMOS, E. M.; BULHÕES, C. C. **Densidade de plantas nos componentes produtivos e produtividade de cultivares de soja.** Revista de Ciências Agro-Ambientais, v. 17, n. 2, p. 51-56, 2019.

AGROADVANCE. **Blog: Guia da agricultura de precisão.** 2024. Disponível em: <<https://agroadvance.com.br/blog-guia-da-agricultura-de-precisao/>> Acesso: 03 set. 2024

VENTAVOLI, G. C. **Variabilidade espacial da qualidade fisiológica de semente de soja**. 2023. 27 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2023.

PAIM, J. V. P. **Atributos Biofísicos e População de Plantas de Soja na Validação de Zonas Homogêneas em Área de Produção de Grãos**. 2023. 12 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia - MG, 2023.

BRASIL. **Regra de Análise de Sementes (RAS)**, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2009.

DELOUCHE, J. C. **An accelerated aging technique for predicting relative storability of crimson clover and tall fescue seed lots**. Agronomy Abstracts, v. 40, n.1, p. 40, 1965.

KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA-NETO, J.B.; MARCOS-FILHO, J. (Eds.) **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: Abrates, 2020. p.79-140.

VIEIRA, R.D.; KRZYZANOWSKI, F.C. **Teste de condutividade elétrica**. In: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, cap.4, p.1- 26. 1999.

FERREIRA, D.F. **SISVAR (Sistema para análise de variância)**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, Departamento de Ciências Exatas, 2011.

FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. **Ecofisiologia da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 8 p. (Embrapa Soja. Circular técnica, 48). 2007.

NUNES, J. N. **Produtividade e qualidade de sementes de soja em diferentes zonas de manejo e densidade de plantio**. 2021. 26 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia - MG, 2021.

COIMBRA, R. de A.; TOMAZ, C. de A.; MARTINS, C. C.; NAKAGAWA, J. **Teste de germinação com acondicionamento dos rolos de papel em sacos plásticos**. Revista Brasileira de Sementes, v.29, p.92-97, 2007.

SANTOS, M. E. P. **Qualidade de sementes de soja em zonas de manejo com diferente potencial produtivo**. 2021. 43 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2021.

BRASIL. **Instrução Normativa n. 25, de 16 de dezembro de 2005: Padrões para produção e comercialização de sementes de soja**. Diário Oficial da União, n. 243 de 20 de dezembro de 2005, Brasília, 20 de dezembro de 2005. Seção 1, p. 2.

PANOBIANCO, M.; MARCOS FILHO, J. **Envelhecimento acelerado e deterioração controlada em sementes de tomate**. Scientia Agrícola. Piracicaba. 58: 525-531. 2001.

BEWLEY, J.D.; BLACK, M. **Seeds: physiology of development and germination**. 2.ed. New York: Plenum Press, 445p. 1994.

FRANÇA-NETO, J. B.; KRZYZANOWSKI, F. C. **Metodologia do teste de tetrazólio em sementes de soja**. 2018. Londrina: Embrapa Soja, 2018.

FIORESI, D. **Produtividade e rentabilidade de cultivares de soja em zonas de manejo**. 2019. 55f. Dissertação (mestrado em Agricultura de Precisão) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS, 2019.

MATTIONI, N.; SCHUCH, L.; VILLELA, F. **Variabilidade espacial da produtividade e da qualidade das sementes de soja em um campo de produção**. Revista Brasileira de Sementes, v. 33, p.608-615, 2011.

COELHO, A. M. **Agricultura de precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e culturas**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2005.