UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
CAMPUS CERRO LARGO
CURSO DE AGRONOMIA

MABIA DE ARAÚJO LIMA

DESENVOLVIMENTO E QUALIDADE DE MUDAS DE ACÁCIA-NEGRA SUBMETIDAS À TRATAMENTOS COM BIOINSUMOS

CERRO LARGO
2025

MABIA DE ARAÚJO LIMA

DESENVOLVIMENTO E QUALIDADE DE MUDAS DE ACÁCIA-NEGRA SUBMETIDAS À TRATAMENTOS COM BIOINSUMOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Agronomia da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), como requisito para obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Evandro Pedro Schneider

CERRO LARGO

2025

Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Lima, Mabia de Araújo
Desenvolvimento e qualidade de mudas de acácia-negra submetidas à tratamentos com bioinsumos / Mabia de Araújo Lima. -- 2025.
39 f.:il.

Orientador: Doutor Evandro Pedro Schneider

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de Bacharelado em Agronomia, Cerro Largo,RS, 2025.

I. , Evandro Pedro Schneider, orient. II. Universidade Federal da Fronteira Sul. III. Título.

Elaborada pelo sistema de Geração Automática de Ficha de Identificação da Obra pela UFFS com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

MABIA DE ARAÚJO LIMA

DESENVOLVIMENTO E QUALIDADE DE MUDAS DE ACÁCIA-NEGRA SUBMETIDAS À TRATAMENTOS COM BIOINSUMOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Agronomia da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), como requisito para obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Este trabalho foi defendido e aprovado pela banca em 03/12/2025.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
gov.br EVANDRO PEDRO SCHNEIDER
Data: 09/12/2025 21:34:37-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. Evandro Pedro Schneider – UFFS
Orientador

Documento assinado digitalmente
gov.br TATIANE CHASSOT
Data: 15/12/2025 11:03:14-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Drª. Tatiane Chassot – UFFS
Avaliador

Documento assinado digitalmente
gov.br JANAINA SILVA SARZI
Data: 15/12/2025 13:46:14-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Eng. Agrônoma Drª. Janaina Silva Sarzi
Avaliador

Dedico este trabalho a minha família e amigos que têm estado comigo desde quando tudo isso ainda era sonho e agora está se materializando.

AGRADECIMENTOS

É com grande satisfação e em poucas palavras que deixo transparecer aqui minhas gratificações com a entrega deste trabalho.

Agradeço primeiramente a Deus, pois sem ver pude ter fé de que já havia dado certo seus planos para comigo.

Agradeço a todos os fatores, sejam eles bons ou ruins que me fizeram chegar até aqui e entender que cada pequeno esforço valeu muito apena.

Agradeço a mim mesma por entender que há mais interação no desconforto e que o incômodo é sempre significativo.

Agradeço a todos que estiveram comigo nessa jornada, especialmente ao meu companheiro por me compreender, me oferecer apoio e celebrar cada conquista que antes mesmo de ser minha, é nossa!

Agradeço a Universidade Federal da Fronteira Sul, Campus Cerro Largo pelas oportunidades que tive e que me moldaram.

Agradeço a empresa Tanac pelo apoio neste projeto e parabenizar por confiarem que a pesquisa é a fonte da transformação.

Agradeço aos componentes da banca Eng. Agrônoma Drª. Janaína Silva Sarzi e a minha coorientadora Prof. Drª. Tatiane Chassot por terem aceito o convite e que certamente terão muito a contribuir com meu trabalho.

Por fim, agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Evandro Pedro Schneider por todo suporte, auxílio, paciência e incentivo no desenvolvimento deste projeto.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da inoculação e coinoculação de diferentes bioinsumos (*Trichoderma asperellum*, *Azospirillum brasilense* e *Bradyrhizobium japonicum*) no desenvolvimento e na qualidade inicial de mudas de acácia-negra (*Acacia mearnsii*). O experimento foi conduzido em viveiro na empresa Tanac®, em Triunfo – RS, utilizando oito tratamentos (incluindo inoculações simples, combinadas e um controle). Após 104 dias, foram avaliados parâmetros morfológicos (altura, diâmetro do coleto e coeficiente de robustez) e de biomassa (comprimento e massa seca de raiz). A análise estatística não detectou diferenças significativas entre os tratamentos para os parâmetros morfológicos e de biomassa, um resultado influenciado pela elevada heterogeneidade dos dados experimentais. Apesar da ausência de significância, a análise descritiva apontou que o tratamento coinoculado com *Bradyrhizobium* + *Azospirillum* foi o mais eficiente na promoção da biomassa radicular, enquanto o tratamento Testemunha obteve o melhor coeficiente de robustez. Concluiu-se que, nas condições controladas de viveiro, a uniformidade e a qualidade intrínseca do lote de mudas são fatores preponderantes para a determinação da qualidade final da muda de acácia-negra.

Palavras-chave: *Acacia mearnsii* De Wild.; silvicultura; inoculação; co-inoculação; leguminosas.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effects of inoculation and co-inoculation of different bio-inputs (*Trichoderma asperellum*, *Azospirillum brasilense*, and *Bradyrhizobium japonicum*) on the development and initial quality of black wattle (*Acacia mearnsii*) seedlings. The experiment was conducted in a nursery at the Tanac® company, in Triunfo – RS, using eight treatments (including single inoculations, combined inoculations, and a control). After 104 days, morphological parameters (height, collar diameter, and robustness index) and biomass parameters (root length and root dry mass) were evaluated. Statistical analysis did not detect significant differences between treatments for the morphological and biomass parameters, a result influenced by the high heterogeneity of the experimental data. Despite the lack of significance, descriptive analysis indicated that the co-inoculated treatment with *Bradyrhizobium* + *Azospirillum* was the most efficient in promoting root biomass, while the Control treatment obtained the best robustness index. It was concluded that, under controlled nursery conditions, the uniformity and intrinsic quality of the seedling batch are critical factors for determining the final quality of the black wattle seedling.
Keywords: *Acacia mearnsii* De Wild.; silviculture; inoculation; Co-inoculation; legumes;

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Croqui do experimento.....27
Figura 2 - Implantação do experimento com acácia-negra no viveiro da Tanac®, Triunfo - RS, 2025. 27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Médias das alturas (cm), diâmetro de coleto (mm), coeficiente de robustez (H/DC), comprimento de raiz (cm) e massa seca de raiz (MSR) de mudas de acácia-negra submetidas a diferentes tratamentos com bioinsumos, Triunfo - RS, 2025. 30

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 11
2 OBJETIVO 12
2.1 OBJETIVO GERAL 12
3 REVISÃO DE LITERATURA 13
3.1 ACÁCIA-NEGRA 13
3.2 QUALIDADE DE MUDAS 15
3.3 FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO 18
3.4 INTERAÇÃO MICROORGANISMOS E LEGUMINOSAS 19
3.5 INOCULAÇÃO E COINOCULAÇÃO 20
3.5 TRICHODERMA ASPERELLUM 21
3.6 AZOSPIRILLUM BRASILENSE 23
3.7 BRADYRHIZOBIUM JAPONICUM 24
4 MATERIAL E MÉTODOS 26
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES 29
5.1 EXPERIMENTO 29
6 CONCLUSÕES 32
REFERÊNCIAS 33
ANEXO A – ANOVAs do experimento 38

1 INTRODUÇÃO

A acácia-negra (*Acacia mearnsii*) destaca-se como uma das espécies florestais de maior relevância econômica, especialmente pela produção de taninos e pela versatilidade de uso na indústria e na recuperação ambiental. A expansão do cultivo tem aumentado a necessidade de mudas de boa procedência e com qualidade suficiente para garantir desempenho satisfatório após o plantio. Nesse contexto, a etapa de viveiro torna-se fundamental, pois é nela que se determinam grande parte das características que irão influenciar o estabelecimento inicial e o crescimento da espécie em campo.

A qualidade das mudas é avaliada por um conjunto de atributos morfológicos e fisiológicos que refletem sua capacidade de adaptação e sobrevivência. Parâmetros como altura, diâmetro do coleto, relação entre altura e diâmetro, além da produção de massa seca, são indicadores amplamente utilizados para mensurar vigor e robustez. Esses fatores dependem diretamente das condições de cultivo, especialmente do substrato, do manejo nutricional e da interação das raízes com os microrganismos presentes no ambiente.

Entre os desafios enfrentados durante a produção, as doenças radiculares representam um dos principais entraves para a obtenção de mudas de alta qualidade. Patógenos de solo podem comprometer o desenvolvimento desde os estágios iniciais, causando redução no crescimento, predisposição ao estresse e até mortalidade. Geralmente, essas doenças são favorecidas por condições de excesso de umidade, compactação do substrato ou desequilíbrio na microbiota da rizosfera.

Diante dessas limitações, cresce o interesse por alternativas sustentáveis que reduzam o uso de produtos químicos e promovam o desenvolvimento saudável das plantas. Nesse cenário, os bioinsumos têm ganhado destaque por apresentarem mecanismos de ação capazes de melhorar o desempenho das mudas, seja pela promoção de crescimento, pelo aumento da resistência ao estresse ou pelo antagonismo a patógenos radiculares. Espécies como *Trichoderma asperellum*, *Azospirillum brasilense* e *Bradyrhizobium japonicum* são exemplos de microrganismos utilizados com esse propósito, atuando tanto na rizosfera quanto no interior da planta.

Apesar dos avanços, ainda são limitados os estudos que relacionam, de forma integrada, o uso desses bioinsumos com a produção de mudas de acácia-negra, especialmente no contexto de doenças radiculares e da busca pela melhoria da qualidade final. Assim, torna-se necessário investigar como diferentes microrganismos benéficos podem contribuir para o desenvolvimento da espécie e para a formação de mudas mais vigorosas e preparadas para o plantio.

2 OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar os efeitos da inoculação e coinoculação de diferentes bioinsumos, no desenvolvimento e na qualidade inicial de mudas.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 ACÁCIA-NEGRA

A acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.) é uma espécie florestal amplamente cultivada na região Sul do Brasil, com destaque para o estado do Rio Grande do Sul (Martins-Corder, 1999). Pertencente à família Fabaceae, subfamília Mimosoideae (Marchiori, 1997), a espécie é originária da Austrália e foi introduzida no território gaúcho em 1928, no município de Estrela (Santos *et al*., 2001). O cultivo da acácia-negra consolidou-se principalmente em função de seu potencial econômico, associado à produção de lenha e à extração de tanino, obtido predominantemente da casca e do tronco das árvores.

Além da relevância econômica, a implantação de povoamentos de acácia-negra é favorecida por características ecológicas da espécie, especialmente a capacidade de realizar a fixação biológica do nitrogênio atmosférico, contribuindo para a melhoria da fertilidade do solo e para a recuperação de áreas degradadas (Riegel *et al*., 2008). Ademais, a espécie estimula a formação de associações biológicas benéficas, como micorrizas, que auxiliam na absorção de nutrientes (Silva *et al*., 2008). Contudo, apesar desses benefícios, o desenvolvimento da cultura é condicionado às características edáficas, uma vez que a acácia-negra não se adapta a solos mal drenados e apresenta redução no crescimento em ambientes excessivamente ácidos ou com baixa fertilidade natural (Higa; Resende, 1994).

No que se refere aos aspectos morfológicos, a acácia-negra é classificada como uma árvore de porte médio a elevado, com folhagem de coloração verde-escura, podendo atingir alturas entre 10 e 30 metros (Schonau, 1969). A espécie apresenta crescimento monopodial, com caule predominantemente reto ao longo de sua extensão, frequentemente marcado por fissuras na casca. As folhas são perenes, compostas e bipinadas, características típicas do gênero, conforme descrito por Simon (2005).

Durante a fase juvenil, as folhas apresentam de quatro a oito pares opostos de pinas, cada uma composta por 20 a 25 pares de folíolos de formato oblongo e coloração verde-escura (Bolland, 1985). As inflorescências são do tipo panícula terminal, hermafroditas, com coloração amarelo-creme. Os frutos são do tipo legume, geralmente retos e recobertos por pelos, medindo entre 5 e 15 cm de comprimento e 4 a 8 mm de largura, com maturação ocorrendo aproximadamente entre 12 e 14 meses após a floração. Cada fruto pode conter de uma a 14 sementes, de coloração negra e formato ovoide, com dimensões médias de 3 a 5 mm de comprimento e 2 a 3,5 mm de largura, apresentando arilo terminal curto e de coloração creme.

A madeira da espécie apresenta cerne marrom-claro, com tonalidades avermelhadas, destacando-se pela elevada dureza e resistência mecânica.

Quanto ao ciclo de produção, a acácia-negra é considerada uma cultura de ciclo relativamente curto, com colheita normalmente realizada a partir do sétimo ano de idade. Entretanto, em função da demanda por madeira e casca, o corte pode ser antecipado para aproximadamente o quinto ano de cultivo (Mantoefel, 1991).

Em relação às exigências ambientais, a espécie não tolera solos sujeitos a alagamento, apresentando melhor adaptação a solos pedregosos, desde que possuam profundidade adequada e níveis satisfatórios de fertilidade. A casca, de coloração escura, constitui a principal fonte de extração do tanino, cuja produção representa um importante incremento econômico para o estado do Rio Grande do Sul, sendo amplamente utilizada nas indústrias coureira e farmacêutica. O rendimento da produção desse composto está diretamente relacionado à interação entre fatores genéticos, condições climáticas, características morfológicas do solo, práticas silviculturais adotadas e sistemas de manejo aplicados aos povoamentos florestais (Villela, 2007).

Além das características morfológicas, produtivas e edáficas já descritas para *Acacia mearnsii*, é importante considerar os problemas fitossanitários que podem comprometer a saúde das plantas em povoamentos comerciais. Entre as enfermidades que afetam a cultura, destacam-se as doenças relacionadas ao sistema radicular e à região basal da planta, frequentemente associadas à presença de patógenos do solo. Espécies do gênero *Phytophthora* são reconhecidas como agentes de podridão de raízes, colo e base do tronco, promovendo a chamada gomose, que pode levar à murcha, redução de crescimento e, em casos severos, à morte de indivíduos suscetíveis. O solo atua como principal fonte de inóculo primário, sendo o ponto inicial da infecção antes da disseminação para partes superiores da planta (Forest *Phytophthoras*, 2023; Santos, 2001).

Estudos fitopatológicos em áreas de cultivo no Rio Grande do Sul identificaram *Phytophthora nicotianae* como a principal espécie associada à gomose da acácia-negra, confirmando sua patogenicidade e ampla distribuição em diferentes povoamentos. Outras espécies, como *P. boehmeriae*, também foram relatadas, sendo capazes de causar lesões necróticas que se estendem da região basal até segmentos superiores do tronco, evidenciando a diversidade de patógenos de solo que podem comprometer o sistema radicular e o desempenho das plantas (Santos; Luz, 2018).

3.2 QUALIDADE DE MUDAS

O sucesso de qualquer empreendimento florestal seja ele voltado para a produção de madeira, o sequestro de carbono ou a restauração de ecossistemas degradados é determinado, primordialmente, pela qualidade do material de plantio utilizado. A muda florestal não é apenas uma planta jovem, mas sim a unidade básica que transporta o potencial genético e a capacidade de sobrevivência para o ambiente de campo. A avaliação da qualidade da muda transcende a simples observação visual, exigindo um conjunto de critérios que atestem a sua rusticidade e o seu vigor para superar o choque do transplantio e iniciar o crescimento rápido.

O objetivo do viveirista e do pesquisador é garantir que apenas indivíduos com as melhores chances de sucesso sejam levados ao campo. Neste contexto, Carneiro (1995) afirma que a qualidade da muda é um conceito intrínseco que deve ser avaliado antes da expedição. Investir na produção de mudas robustas é crucial, pois a negligência na qualidade inicial resulta invariavelmente em elevadas taxas de mortalidade, necessidade de replantios custosos e atraso no desenvolvimento da floresta. Portanto, o conhecimento e a aplicação rigorosa de indicadores de qualidade são etapas críticas para mitigar riscos e otimizar o investimento inicial (Gomes e Paiva, 2006). A qualidade da muda é um conceito multifacetado que se baseia em critérios morfológicos, fisiológicos e sanitários, todos interligados na capacidade da planta de se adaptar e crescer após ser transferida do ambiente protegido do viveiro para as condições frequentemente mais severas do campo.

Os parâmetros morfológicos representam os critérios de avaliação mais acessíveis e de menor custo operacional nos viveiros, e por isso, são largamente utilizados como ferramentas de triagem rápida. Eles oferecem informações cruciais sobre o equilíbrio de crescimento e a estrutura física da muda. Dentre eles, a altura da parte aérea (H) é a medida mais simples, expressando o crescimento vertical da muda. Embora útil, a altura por si só pode ser enganosa, visto que mudas excessivamente altas em um curto período podem indicar estiolamento (crescimento rápido e frágil em busca de luz), resultando em menor resistência.

Por outro lado, o diâmetro do coleto (DC) medido na região do colo, junto ao substrato é universalmente considerado o indicador morfológico de maior confiabilidade na predição do desempenho pós-plantio. De acordo com Carneiro (1995), a espessura do coleto está fortemente correlacionada com a capacidade de sobrevivência e a taxa de crescimento da muda no campo. Isso ocorre porque o diâmetro é um reflexo direto do acúmulo de reservas nutritivas e da resistência mecânica da planta. É fundamental que as mudas atinjam um diâmetro mínimo específico para a espécie e o local de plantio, indicando que a planta possui a robustez necessária

para resistir a injúrias físicas e ataques de herbívoros ou vento. A altura e o diâmetro são, portanto, a base da avaliação.

A qualidade estrutural da muda é melhor avaliada quando os parâmetros de altura e diâmetro são integrados, o que leva à razão altura/diâmetro (H/DC). Este índice de esbeltez sintetiza a forma da muda, indicando o quão equilibrado é o seu crescimento. Uma alta relação H/DC é indesejável, pois sugere uma muda fina e suscetível ao tombamento, enquanto uma baixa relação H/DC indica uma muda robusta e bem dimensionada. Haase (2008) argumenta que valores baixos para a razão H/DC são mais adequados, pois promovem maior equilíbrio e resistência a estresses, aumentando a aptidão para o estabelecimento em campo. Para muitas espécies, essa razão deve situar-se entre 5 e 10 para ser considerada aceitável. A busca por este equilíbrio é um dos principais objetivos no manejo do viveiro, sendo frequentemente alcançado através de práticas de rustificação, como o controle da densidade de plantio e a redução da irrigação na fase final de produção. É possível a utilização de fatores de avaliação como a coloração de folhas, no entanto, o foco deve permanecer na estrutura física que dará suporte ao crescimento no campo.

Apesar da importância dos índices morfológicos da parte aérea, o sucesso no campo depende intrinsecamente do desenvolvimento do sistema radicular, considerado por muitos pesquisadores como o indicador mais crucial da aptidão da muda para o plantio. O sistema radicular é o principal motor de sobrevivência da muda, responsável pela absorção de água e nutrientes e pela ancoragem da planta no solo. Gomes e Paiva (2006) destacam que um sistema radicular bem formado, sem enovelamento e com boa distribuição, é fundamental para o rápido estabelecimento em campo. Raízes deformadas, um problema comum em recipientes inadequados, comprometem o crescimento futuro e podem levar à morte da planta anos após o plantio, mesmo em indivíduos que inicialmente parecem vigorosos (Schumacher; Gomes, 2011).

A avaliação da biomassa da planta é realizada através de parâmetros destrutivos que fornecem dados precisos sobre o acúmulo de reservas energéticas. A massa seca da raiz (MSR) e a massa seca da parte aérea (MSPA) são essenciais para este diagnóstico. A MSR, em particular, está diretamente ligada à capacidade da muda de regenerar novas raízes e se estabelecer rapidamente em um novo ambiente. A razão MSPA/MSR é o indicador de equilíbrio entre as partes. Se a MSPA for excessivamente grande em relação à MSR, a demanda transpiratória da parte aérea será maior do que a capacidade de absorção de água da raiz, resultando em alto risco de desidratação e estresse hídrico após o transplantio. A muda ideal é

aquela que possui biomassa suficiente e bem distribuída para suportar o estresse do novo ambiente, garantindo um balanço hídrico favorável.

Reconhecendo que nenhum indicador isolado é suficiente para prever com precisão o desempenho em campo, a comunidade científica desenvolveu índices sintéticos que combinam os principais parâmetros morfológicos e de biomassa. Dentre eles, o Índice de Qualidade de Dickson (IQD) é a métrica mais aceita e completa para classificar a qualidade geral da muda. Este índice integra tanto a distribuição de biomassa (o peso seco total e sua divisão entre raiz e parte aérea) quanto o equilíbrio estrutural (a relação H/D).

O Índice de Qualidade de Dickson (IQD) é considerado um dos indicadores mais completos para avaliação de mudas, pois integra, em um único valor, o balanço de biomassa e as principais relações de crescimento, demandando desenvolvimento equilibrado da planta (Dickson; Leaf; Hosner, 1960).

Quanto maior o valor do IQD, maior a qualidade intrínseca da muda. No entanto, o IQD, por ser um índice morfológico, possui limitações. Ele não avalia diretamente as condições fisiológicas da muda, como o potencial de crescimento de raízes novas (Root Growth Potential - RGP), que é um indicador fisiológico mais sensível à capacidade da muda de responder rapidamente a um novo ambiente, conforme pontuado por Ritchie (1985). Assim, a avaliação completa pode exigir a integração de ambos os tipos de índices.

A qualidade final da muda é intensamente modulada pelos fatores de produção no viveiro, com destaque para o substrato e o regime de fertilização. O substrato utilizado deve oferecer características físicas e químicas ideais, como boa porosidade para aeração e drenagem, mas também capacidade de retenção de água e nutrientes, além de ser livre de patógenos (Dias *et al*., 2017). O uso de diferentes componentes, como casca de arroz carbonizada, turfa e compostos orgânicos, visa maximizar o desenvolvimento radicular e garantir a consistência do torrão, essencial para o transporte e plantio sem danos (Gomes e Paiva, 2006).

A fertilização é outro fator determinante, pois mudas de alta qualidade devem ter reservas nutricionais suficientes para seu "arranque" inicial no campo. A adubação com Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Potássio (K) é crucial. Estudos indicam que a aplicação isolada de N pode aumentar a altura e o peso seco da parte aérea, mas pode ter efeito negativo no sistema radicular se não estiver em equilíbrio com outros nutrientes, como o P e o K (Auchmoody, 1972). O fósforo e o potássio são particularmente importantes para o desenvolvimento do sistema radicular e para a resistência geral da planta a estresses. A fertilização de liberação controlada (FLC) é uma estratégia moderna que visa garantir o suprimento constante de nutrientes, embora

sua eficácia deva ser avaliada em comparação com a fertilização convencional e adubação orgânica em função da espécie (Schumacher; Gomes, 2011).

A produção de mudas a partir de viveiros dispõe de melhores condições ambientais e melhor desenvolvimento inicial de mudas. Sendo possível realizar seleção de mudas quanto ao tamanho e vigor, obtendo confiabilidade na qualidade das plantas para plantio, resultando em homogeneidade quanto a crescimento e desenvolvimento a campo (Bianchetti *et al*., 1998).

Considerando que grande parte das espécies florestais é propagada via seminal, torna-se necessário o conhecimento das exigências ambientais para o sucesso da germinação, visto que o desenvolvimento inicial das plantas depende da capacidade das plântulas em resistir a condições ambientais desfavoráveis. A dormência e a viabilidade das sementes influenciam diretamente o processo germinativo, podendo retardar o desenvolvimento das mudas, sendo que fatores como condições ambientais inadequadas, estresse hídrico, variações de temperatura e a presença de agentes patogênicos contribuem para a redução da qualidade das mudas produzidas (Silva *et al*., 2017).

3.3 FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO

A fixação biológica de nitrogênio (FBN) é um processo ecológico fundamental no qual o nitrogênio gasoso (N_2), presente em cerca de 78 % da atmosfera, é transformado em formas químicas assimiláveis pelas plantas, como amônia (NH_3) ou compostos nitrogenados orgânicos. Essa conversão é catalisada pela enzima nitrogenase, encontrada em bactérias diazotróficas em associação simbiótica com as raízes de plantas leguminosas (Embrapa, 2022).

Nas leguminosas, a FBN ocorre principalmente via simbiose com bactérias do grupo dos rizóbios, que colonizam tecidos radiculares e promovem a formação de nódulos, estruturas especializadas onde a fixação de nitrogênio é otimizada em um ambiente de baixo oxigênio, favorável à atividade da nitrogenase (Oldroyd *et al*., 2024). Esses processos bioquímicos e celulares de interação entre leguminosa e rizóbio envolvem sinalização molecular entre hospedeiro e microrganismo, formação de órgãos nodulares e estabelecimento de uma relação mutuamente benéfica (Forest Phytophthoras, 2023).

No contexto agrícola, a FBN confere às leguminosas a capacidade de suprir parte substancial de sua demanda por nitrogênio sem a necessidade de fertilizantes nitrogenados sintéticos, contribuindo para a redução de custos de produção e mitigação de impactos ambientais (Paulino *et al*., 2010).

A eficiência e o impacto da FBN variam conforme espécies de leguminosas, condições ecológicas e manejo do solo, sendo que em sistemas integrados ou consorciados pode ocorrer significativa transferência de nitrogênio fixado para outras culturas ou para a melhoria da fertilidade do solo após a decomposição dos resíduos vegetais (Nogueira; Cunha, 2013).
Do ponto de vista ecológico e agronômico, a fixação biológica de nitrogênio por leguminosas tem papel essencial tanto em ecossistemas naturais quanto em sistemas de produção agrícola. Estudos indicam que a contribuição de leguminosas arbóreas e herbáceas para o aporte de nitrogênio pode ser relevante em diversos ambientes, inclusive em sistemas agroflorestais (Freitas *et al*., 2024).

A eficácia da fixação biológica de nitrogênio (FBN) é determinada por uma interação complexa que envolve características genéticas da planta hospedeira, a estirpe de rizóbio presente ou inoculada e as diversas variáveis ambientais, como o manejo do solo e os fatores edáficos e climáticos (Moreira; Siqueira, 2006).

3.4 INTERAÇÃO MICROORGANISMOS E LEGUMINOSAS

Estudos referentes às interações entre microrganismos do solo se fazem eficazes para compreensão da dinâmica dos processos desempenhados nas relações entre o solo e as plantas na biosfera. Esses estudos sobre interações biológicas e suas influências, tem por contribuição o conhecimento da rizosfera e como isso se apresenta no desenvolvimento da agricultura moderna e ecológica (Pereira, 2013). Os microrganismos presentes no solo desempenham papel de grande relevância na agricultura, podendo ter atuação prejudicial, benéfica ou neutra quanto aos efeitos projetados à planta (Shippers, 1987 apud Richter, 2015).

A fixação biológica de nitrogênio (FBN) é um processo pelo qual o nitrogênio molecular (N_2) presente na atmosfera é convertido em formas químicas assimiláveis pelas plantas por meio da interação simbiótica entre leguminosas e bactérias diazotróficas chamadas rizóbios. Nesse tipo de simbiose, ocorrida exclusivamente em leguminosas, os rizóbios colonizam as raízes e formam nódulos especializados onde ocorre a redução do nitrogênio, eliminando ou reduzindo a necessidade de fertilizantes nitrogenados para a planta (Embrapa, 2024).

O estabelecimento da fixação biológica de nitrogênio nas leguminosas inicia-se na rizosfera por meio de sinais químicos liberados pela planta, principalmente flavonoides, quando a disponibilidade de nitrogênio no solo é limitada. Esses compostos atuam como moléculas sinalizadoras, reconhecidas pelos rizóbios, que respondem ativando genes específicos,

conhecidos como *nod genes*. A ativação desses genes estimula a síntese de fatores de nodulação, que interagem com receptores nas células dos pelos radiculares, promovendo a entrada das bactérias na raiz e o início da organogênese nodular. Nos nódulos formados, os rizóbios diferenciam-se em bacteroides, assumindo a forma metabólica ativa necessária para a fixação do nitrogênio (Roy *et al*., 2025).

A enzima *nitrogenase*, responsável pela redução do nitrogênio molecular (N_2) a amônia durante a fixação simbiótica, é altamente sensível ao oxigênio, que pode inativá-la irreversivelmente; por isso, os nódulos de leguminosas produzem grandes quantidades de leghemoglobina, uma hemoproteína que se liga ao oxigênio e ajuda a manter níveis de oxigênio suficientemente baixos para proteger a *nitrogenase* enquanto ainda permite a respiração necessária dos bacteroides" (Fagan *et al.*, 2025). Em um intercâmbio de recursos, a leguminosa transfere compostos de carbono (fotoassimilados) para o rizóbio, fornecendo a energia necessária para a fixação do N. Em troca, a planta obtém o nitrogênio fixado, caracterizando a relação de mutualismo benéfico e eficiente.

Outros grupos de bactérias, como o gênero *Azospirillum* (diazotróficos de vida livre ou associativa), e fungos como do gênero *Trichoderma*, classificado como um microrganismo promotor de crescimento plantas (MPCP), é crucialmente complementar ao sucesso da fixação biológica de nitrogênio (FBN) em leguminosas. Sua importância reside na multifuncionalidade de atuar como agente de biocontrole, protegendo as raízes de patógenos de solo como *Rhizoctonia solani* e *Sclerotinia sclerotiorum* (Embrapa, 2019). Adicionalmente, o *Trichoderma* melhora o vigor da planta ao solubilizar o fósforo e promover o crescimento radicular. Este suporte nutricional e fitossanitário garante um sistema radicular saudável e energicamente apto para a formação e manutenção dos nódulos, maximizando indiretamente a eficiência da FBN realizada pelos rizóbios.

3.5 INOCULAÇÃO E COINOCULAÇÃO

A inoculação é método em que se utiliza bactérias fixadoras de nitrogênio, selecionadas mediante pesquisa, e que são aplicadas nas sementes das plantas anteriores à semeadura. A inoculação é realizada com produto denominado de inoculante. Após a obtenção deste produto, contendo um caldo composto por elevada concentração de bactérias é misturado a um veículo, o qual pode ser um solo orgânico conhecido como turfa (inoculante em pó), formulações líquidas (inoculante líquido), ou mesmo produtos combinados (Mendes; Junior; Cunha, 2010).

A coinoculação consiste numa técnica que combina microrganismos distintos,visando obter resultados positivos na interação entre eles (Nogueira *et al*., 2018 apud Coppeti, 2021). A co-inoculação se baseia na mistura combinada entre diferentes microrganismos, no uso de *Bradyrhizobium japonicum*, caracterizado pelo aumento da taxa de nodulação por meio da atividade de simbiose do nitrogênio atmosférico, e o uso da bactéria *Azospirillum brasilense*, tendo papel de otimização desta nodulação em função da produção de hormônios estimulantes do crescimento vegetal e da raiz, potencializando a absorção de nutrientes (Benintende *et al*., 2010).

Cuidados necessários para a compra de inoculantes: a) verificar se há registro no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA); b) averiguar o prazo de validade do produto inoculante, que deve estar disposto na embalagem; c) certificar-se da conservação do produto em condições adequadas (temperatura de no máximo 30° C) e umidade antes da sua comercialização. Após a compra mantê-lo em local arejado e sob abrigo do sol, até o momento de sua utilização, isso devido a sensibilidade das bactérias ao calor; d) não aplicar produtos em plantas em que não há a recomendação de tal inoculante; e) em situação de desconfiança da procedência e eficácia da qualidade do produto, deve-se entrar em contato o fiscal do MAPA responsável pela sua região (Mendes; Junior; Cunha, 2010).

Um exemplo de produtos inoculantes registrados no MAPA são *Azospirillum brasilense* – CEPA AZ39 (LalRise Azos®), tem-se o *Bradyrhizobium japonicum* – estirpes SEMIAS 5079 e 5080 (StarFix Soja®), o qual possui recomendações para aplicação tanto no tratamento de sementes quanto via sulco de plantio, indicando de 1 a 2 ml do produto por kg de sementes de soja e de 200 a 600 ml do produto via sulco, respectivamente. E possui também o *Trichoderma asperellum*, podendo ser aplicado tanto via sementes quanto via sulcos, destacando pela agressividade de colonização de suas hifas e esporos.

3.5 Trichoderma asperellum

O gênero *Trichoderma* spp. consiste em fungos saprófitas de ocorrência comum em ambientes com alta concentração de matéria orgânica no solo, a qual utilizam para sua nutrição. Taxonomicamente, pertence ao Filo Ascomycota, apresentando uma fase assexuada (anamórfica) caracterizada pela produção de conídios (esporos) através de conidióforos. A fase sexuada (teleomórfica) desses fungos é classificada no gênero *Hypocrea*, pertencente à ordem Hypocreales (Melo; Azevedo, 1998).

Devido à sua versatilidade e eficácia, o *Trichoderma* tem sido amplamente empregado na produção agrícola a nível mundial, com o objetivo de melhorar a sanidade, o crescimento e a produtividade de culturas de valor econômico (Lucon; Chaves; Bacilieri, 2014). Um fator de grande relevância reside na sua capacidade de associação às raízes das plantas, promovendo benefícios mútuos (Benítez *et al*., 2004). Essa interação ocorre por meio da colonização superficial do sistema radicular, onde o fungo adere e se desenvolve, podendo se estender por toda a superfície da raiz.

Para a sua sobrevivência e atuação como MPCP (Microrganismo Promotor de Crescimento de Plantas), o *Trichoderma* absorve nutrientes por meio de suas hifas. Devido à natureza complexa e ao alto peso molecular dos componentes presentes na parede celular de outros microrganismos ou na matéria orgânica, esses substratos precisam ser hidrolisados em moléculas menores antes de serem consumidos. Para tanto, o fungo libera uma grande variedade de enzimas extracelulares, o que lhe confere uma elevada vantagem ecológica e metabólica para prosperar em condições ambientais diversas (Monte; Bettiol; Hermosa, 2019).

Essa capacidade enzimática está diretamente ligada aos seus principais mecanismos de ação contra agentes patogênicos, que podem ser classificados como diretos e/ou indiretos (Lucon, 2008). Esses mecanismos incluem a antibiose, que inibe o agente patogênico pela produção de compostos tóxicos (voláteis ou não) com intensa atividade antimicrobiana; a competição, que se manifesta na disputa por espaço e nutrientes com o patógeno, forçando seu deslocamento e prevenindo o processo infeccioso na planta; o micoparasitismo, onde o *Trichoderma* se alimenta diretamente do agente patogênico, degradando sua parede celular por meio de enzimas líticas; e a indução de resistência sistêmica, onde algumas espécies ativam alterações na morfologia e bioquímica das plantas, potencializando seus mecanismos de defesa.

Os bioagentes à base de *Trichoderma* podem ser utilizados no tratamento de sementes, no solo, no substrato, ou por aplicação foliar, conferindo proteção às plantas desde o estádio juvenil, que é o mais suscetível a doenças. A eficácia desse fungo em promover o crescimento e a proteção é comprovada em estudos, como o realizado com linhagens mutantes de *T. koningii* que se mostraram eficientes na produção de celulase, resultando em aumento da taxa de emergência e de volume de massa seca em plântulas de pepino (Melo, 1996 *apud* Braúna, 2011). É importante notar que a eficiência das associações microbianas é influenciada por fatores ambientais como temperatura, pH, umidade, luz solar e tipo de solo (Melo, 2000).

3.6 Azospirillum brasilense

Conforme Moreira *et al*. (2010) *Azospirillum* é um gênero o qual integra uma associação de bactérias diazotróficas, sendo capaz de gerar fitormônios, estimular produção endógena de compostos ao penetrar nos tecidos da planta, tendo por características ser associativas e facultativas, em razão de promover a colonização de hospedeiros e até mesmo permanecer no solo em aspecto de cistos. Microrganismos deste gênero são capazes de se associar a diversas espécies de plantas em diferentes níveis de particularidades, e por isso classificadas como bactérias associativas, endofíticas ou simbióticas (Hungria, 2007).

A partir da difusão dos gases atmosféricos com o espaço poroso do solo, o N_2 pode ser aproveitado por microrganismos por meio da ação de enzimas capazes de romper a tripla ligação do N_2 e reduzi-lo a amônia. A elevada contribuição do processo de fixação de N_2 se dá por associação simbiótica pela família das leguminosas com bactérias que pertencem à diferentes gêneros e possuem denominação de modo popular e coletivo de rizóbios. A associação simbiótica pode ser identificada pela formação de estruturas especializadas, denominadas de nódulos, formados nas raízes das plantas leguminosas, tendo especificidade para fixação biológica de nitrogênio (Hungria, 2011).

Ferlini (2006) relata que o efeito benéfico da associação se dá em especial pela capacidade da bactéria em produzir fitormônios, os quais possibilitam maior desenvolvimento radicular e com isso ampliar o volume de solo explorado. Apesar de poucos estudos referente a inoculação de *Azospirillum brasilense* em plantas da família das leguminosas, alguns resultados demonstram que a prática da co-inoculação de *A. brasilense* e *Bradyrhizobium japonicum* nas sementes, geram efeitos benéficos no desenvolvimento das culturas (Garcia, 2015).

Segundo Barassi *et al.* (2008), foi possível observar em diferentes trabalhos que o uso da bactéria *A. brasilense* desenvolveu resultados positivos dos indicadores de fotossíntese com elevação nos teores de clorofila, promovendo plantas com aspecto mais vigoroso e redução de agentes fitopatogênicos. Alguns estudos apontam sucesso na utilização do *Azospirillum* como PGPRs (bactérias promotoras de crescimento e biocontrole em plantas), por sua ação antagonista atuando de forma indireta no controle biológico de patógenos (Stamford, 2005 apud Mattos, 2017).

Essas bactérias associativas, diferentemente das bactérias simbióticas (*Bradyrhizobium*), excretam volume parcial do nitrogênio fixado diretamente à planta associada. Em suma, a mineralização das bactérias produz acrescidos de nitrogênio, porém não

consegue sanar na sua totalidade as necessidades das plantas, mas apesar disto em conjunto com outros microrganismos atua de forma significativa na nodulação das raízes (Hungria, 2011).

3.7 Bradyrhizobium japonicum

Estas são bactérias diazotróficas, gram-negativas, adaptáveis e capazes de sobreviver em diversos solos. O Bradyrhizobium japonicum destaca-se pela sua alta afinidade com a cultura da soja, sendo o agente biológico central que realiza a fixação biológica de nitrogênio (FBN), transformando o nitrogênio atmosférico em uma fonte de nutrição vital e gratuita para a planta.

O gênero *Bradyrhizobium*, particularmente a espécie *Bradyrhizobium japonicum*, é o principal responsável por esta simbiose. A eficiência desta simbiose, intensamente estudada e aprimorada pela pesquisa brasileira, é o que garante que a soja possa suprir a totalidade de sua demanda por nitrogênio exclusivamente pela FBN, dispensando totalmente a necessidade de aplicação de fertilizantes nitrogenados minerais. A formação de nódulos depende de um processo complexo envolvendo diferentes estádios.

As sementes em fase de germinação juntamente com as raízes exsudam moléculas atraindo quimicamente os rizóbios, outras estimulam o crescimento das bactérias na rizosfera da planta considerada hospedeira enquanto outras desenvolvem a expressão de genes, tanto para a bactéria como para a planta. Em seguida, esses microrganismos penetram na raiz da planta, ocasionando o crescimento de células específicas do hospedeiro, resultando assim na formação de nódulos onde ficaram depositadas. Estes nódulos quando em atividade ativa apresentam coloração rósea acentuada na sua parte interna, essa característica se dá à atividade da leghemoglobina, que possui função de transportar oxigênio, garantindo a sobrevivência de microrganismos aeróbicos (Hungria, 2001).

A FBN, realizada por meio da simbiose entre rizóbio/leguminosa, torna-se uma maneira eficiente para a demanda nutricional da planta, além de baratear os custos. Com a inoculação utilizando estirpes de *Bradyrhizobium* é possível suprir as necessidades demandadas pela planta e se desprender dos fertilizantes químicos (Giongo, 2007 apud Carniel, 2022).

O processo de nodulação e de fixação biológica do nitrogênio sofre influência direta na presença de quaisquer fontes de nitrogênio combinado. São afetados também por condições climáticas como altas temperaturas e escassez hídrica, quando em conjunto esses fatores

limitam a fixação de N_2, com isso impossibilitando a simbiose nos demais estádios seguintes (Hungria, 2001).

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi implantado nos viveiros da empresa Tanac®, localizado em Triunfo - RS, situa-se nas coordenadas 29°45 '14.23 " S e 51°35' 06.93" O, a aproximadamente 106 metros de elevação em relação ao nível do mar. As sementes foram fornecidas pela empresa, a qual lidera a região Sul no cultivo de acácia-negra.

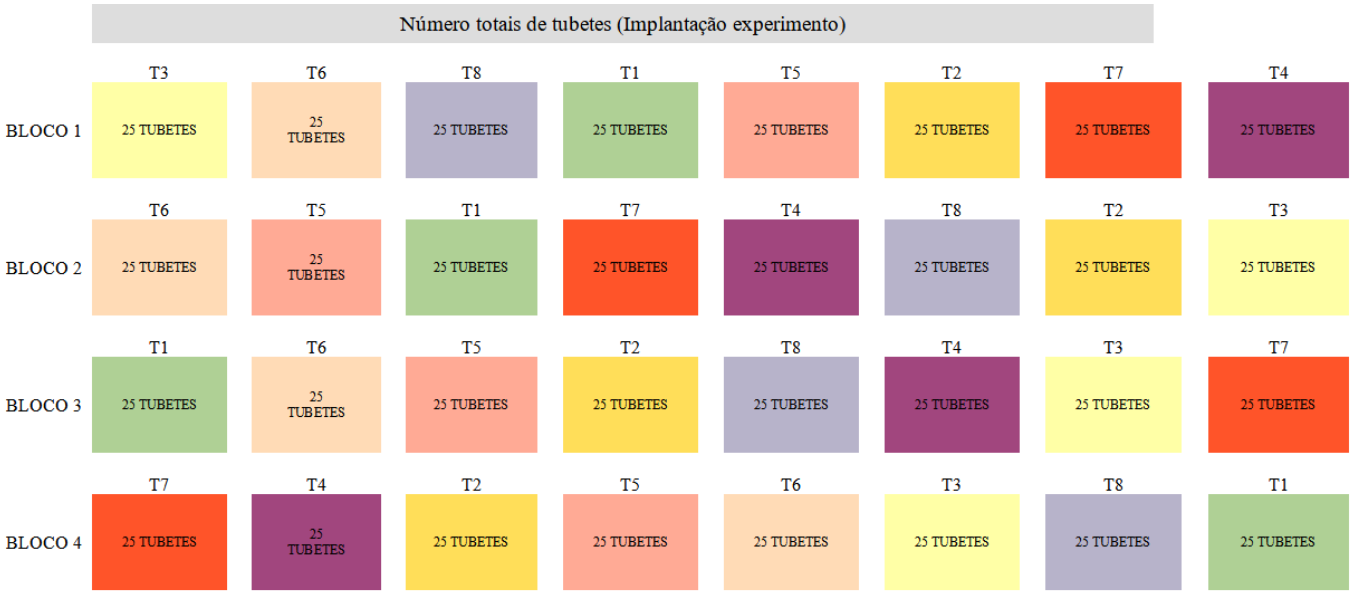
As sementes já haviam passado pelo processo de seleção e quebra de dormência (método de escaldamento), podendo ter seu plantio realizado assim que fossem adquiridas. Foi realizado tratamento de sementes com a utilização de inoculantes, sendo um volume de 30 µL com auxílio de micropipeta para os produtos líquidos e 0,0083 g com auxílio de uma balança de precisão para o produto em pó, ambos utilizados a cada 100 sementes. Os produtos foram aplicados diretamente nas sementes sem realizar diluições, garantindo o contato entre a semente e o componente biológico, após o tratamento aguardou a secagem do produto.

A semeadura foi realizada diretamente em recipientes denominados tubetes, com volume de 50 cm^3, preenchidos com o substrato fornecido pela empresa, o qual é formulado pela Tanac e produzido por outra empresa, tendo como base um composto já enriquecido com fertilizante de liberação controlada do tipo Basacote. Foram utilizados 25 tubetes por tratamento, com uma semente em cada, e após a semeadura os tubetes foram dispostos em bandejas de sustentação para tubetes, realizando-se a irrigação duas vezes ao dia, ajustando-a conforme a necessidade em função das condições do substrato.

Devido à alta capacidade de colonização do *Trichoderma*, foi necessária a instalação de uma barreira física entre os tratamentos no experimento, a fim de evitar contaminações cruzadas. Além disso, a aplicação desse inoculante foi realizada por último, reduzindo ainda mais o risco de contato com os demais tratamentos. A utilização apenas de uma semente por tubete para fins de redução de danos às mudas, não sendo necessária a repicagem das mudas. Um elevado número de sementes por tubete elevaria também as chances de germinação, porém, como o processo de repicagem se torna agressivo dependendo da quantidade de mudas geradas, ele acabaria por prejudicar as demais mudas.

O delineamento utilizado foi blocos ao acaso (DBC) com 8 tratamentos e 4 repetições, totalizando 32 unidades experimentais e cada unidade experimental contendo 25 sementes para o experimento.

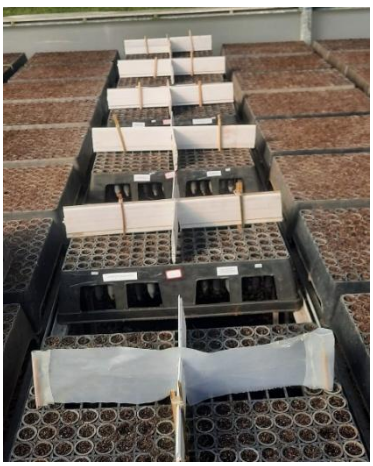
Figura 1 – Croqui do experimento



Legenda

T1: Testemunha
T2: *Trichoderma asperellum*
T3: *Azospirillum brasilense*
T4: *Bradyrhizobium japonicum*
T5: *Trichoderma asperellum* + *Azospirillum brasilense*
T6: *Trichoderma asperellum* + *Bradyrhizobium japonicum*
T7: *Azospirillum brasilense* + *Bradyrhizobium japonicum*
T8: *Trichoderma asperellum* + *Azospirillum brasilense* + *Bradyrhizobium japonicum*

Figura 2 - Implantação do experimento com acácia-negra no viveiro da Tanac®, Triunfo - RS, 2025.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

O cronograma de atividades do experimento iniciou-se com a implantação do experimento no viveiro da empresa Tanac® em 31 de julho de 2025. A avaliação do experimento foi realizada no dia 11/11/2025, totalizando 104 dias após a semeadura.

Para o experimento visou avaliar:

- altura de parte aérea com auxílio de uma régua (cm);
- diâmetro de coleto utilizando um paquímetro digital, mensurando a região de transição entre caule e raiz;
- quociente de robustez (Relação H/DC);
- comprimento de raiz;
- massa seca de raiz;

Após a obtenção dos resultados, utilizando o software Sisvar os dados foram submetidos a análises estatísticas e teste de médias Tukey a 5% de probabilidade de erro.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Experimento

A produção de mudas na empresa demonstra uma taxa de germinação satisfatória, situando-se em torno de 75%. No entanto, o desafio central reside na ausência de um padrão de uniformidade tanto na germinação quanto no desenvolvimento subsequente dos indivíduos pertencentes ao mesmo lote. Essa realidade alinha-se aos dilemas comuns da silvicultura, pois, conforme destacado na literatura, a produção de mudas com um padrão uniforme de qualidade é uma das maiores preocupações do viveirista, pois a variabilidade no crescimento e desenvolvimento é comum, mesmo quando as mudas são cultivadas em um mesmo viveiro e submetidas às mesmas práticas culturais (Machado *et al*., 2008).

Esta baixa taxa pode ser atribuída diretamente ao número reduzido de sementes utilizado por tubete. A prática institucional de inserir múltiplas sementes por célula tem como objetivo compensar a variabilidade natural da germinação da espécie da acácia-negra, a qual é conhecida por apresentar forte oscilação em função de fatores como lote, condições de armazenamento e qualidade fisiológica.

Apesar de não ser avaliada a taxa de germinação das sementes do experimento, observou-se um número reduzido de mudas e isto pode ser atribuída diretamente ao número reduzido de sementes utilizado por tubete. Essa redução é contraposta pela prática institucional de inserir múltiplas sementes por célula, a qual visa compensar a variabilidade natural da germinação da espécie da acácia-negra, que é conhecida por apresentar forte oscilação em função de fatores como lote, condições de armazenamento e qualidade fisiológica.

Em conformidade com esse protocolo, a Embrapa [s.d.] orienta o manejo de sementes recomendando a semeadura de três a cinco sementes por recipiente. Tal técnica visa, justamente, assegurar o preenchimento da célula, com o excesso de plântulas sendo removido posteriormente por meio do raleio. Portanto, a falha em seguir o protocolo de semeadura múltipla, especialmente considerando a conhecida instabilidade de germinação da acácia-negra, resultou diretamente no aumento de tubetes vazios e na consequente redução da taxa final de mudas aproveitáveis no lote.

Diante da necessidade de quantificar o impacto da inconsistência produtiva dos lotes, a análise estatística dos dados morfológicos foi conduzida. Conforme detalhado na Tabela 1, constatou-se a ausência de significância entre os tratamentos, resultando na aceitação da hipótese nula., . Isso indica que, estatisticamente, os bioinsumos e os blocos não diferiram para

os parâmetros avaliados, como altura (H), diâmetro do coleto (DC), Coeficiente de Robustez (H/DC), comprimento de raiz e matéria seca de raiz (MSR).

Esta ineficácia estatística pode ser explicada, em grande parte, pela extrema heterogeneidade dos dados. O coeficiente de variação (CV) atingiu níveis classificados como "Muito Alto" para as variáveis mais importantes de qualidade, como o diâmetro do coleto (59,53%) e a matéria seca de raiz (43,33%). Pimentel-Gomes (2009) e Duarte *et al*. (2012) classificam índices de CV superiores a 30% como "Muito Alto", alertando que tais dispersões de dados comprometem a precisão do experimento e a confiabilidade das médias.

Essa intensa variação, que impediu os tratamentos de bioinsumos de demonstrar superioridade, é um desafio recorrente na silvicultura. Gomes *et al*. (2002) afirmam que a variabilidade no crescimento e desenvolvimento é comum, e Binotto (2007) reforça que esta alta dispersão nas características morfológicas tem o potencial de mascarar o efeito real de um tratamento, tornando a aplicação dos bioinsumos irrelevante no contexto deste estudo. A análise descritiva demonstra que, embora o T1 tenha obtido o melhor Coeficiente de Robustez (H/DC = 2,71) e o T7 a maior matéria seca de raiz (1,21 g), a variabilidade não controlada anula qualquer distinção estatística entre eles.

Tabela 1 - Médias das alturas (cm), diâmetro de coleto (mm), coeficiente de robustez (H/DC), comprimento de raiz (cm) e massa seca de raiz (MSR) de mudas de acácia-negra submetidas a diferentes tratamentos com bioinsumos, Triunfo - RS, 2025.

Bioinsumos	H	DC	H/DC	Comp. raiz	MSR
T1	2,55 ns	1,26 ns	2,71 ns	6,7 ns	0,96 ns
T2	1,76	0,75	3,56	4,66	0,72
T3	2,32	0,74	3,69	5,89	0,79
T4	3,02	0,73	4,01	6,86	1,18
T5	2,87	0,71	3,92	6,34	0,87
T6	2,40	0,63	3,42	6,88	0,81
T7	2,60	0,60	3,46	6,98	1,21
T8	2,33	0,49	3,80	5,65	0,96
CV(%)	27,01	59,53	17,30	25,13	43,33

ns: não significativo. T1: Testemunha; T2: *Trichoderma*; T3: *Bradyrhizobium*; T4: *Azospirillum*; T5: *Trichoderma* + *Azospirillum*; T6: *Trichoderma* + *Bradyrhizobium*; T7: *Bradyrhizobium* + *Azospirillum*; T8: *Trichoderma* + *Bradyrhizobium* + *Azospirillum*.

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Com base na análise descritiva realizada, é possível sintetizar o desempenho dos bioinsumos através da comparação direta das médias. O bioinsumo T1 se destacou na obtenção da qualidade morfológica, registrando o maior diâmetro do coleto (1,26 mm) e,

consequentemente, o melhor coeficiente de robustez (H/DC de 2,71), que é um indicador crucial para a resistência ao estresse de transplante. Em contraste, o bioinsumo T4 promoveu o maior crescimento em altura (3,02 cm), e o T7 mostrou ser o mais eficiente na produção de biomassa radicular, com a maior matéria seca de raiz (1,21 g) e o maior comprimento de raiz (6,98 cm).

Por outro lado, os bioinsumos T2 e T8 ficaram consistentemente nas posições mais baixas, com o primeiro apresentando as piores médias em variáveis-chave de crescimento radicular e o segundo registrando o menor diâmetro. No entanto, é imprescindível frisar que esta comparação é apenas numérica, pois, como demonstrado pela análise estatística, nenhuma dessas diferenças descritivas é estatisticamente significativa entre os bioinsumos, sendo a variação um reflexo da alta heterogeneidade do lote e não do efeito dos bioinsumos.

6 CONCLUSÕES

A avaliação dos efeitos da inoculação e coinoculação dos bioinsumos (*Trichoderma*, *Bradyrhizobium* e *Azospirillum*) no desenvolvimento e na qualidade inicial de mudas de acácia-negra resultou em um achado de natureza limitante onde os tratamentos não foram eficazes em promover ganhos estatisticamente comprovados nos parâmetros morfológicos avaliados. Conclui-se, portanto, que apesar da aplicação dos microrganismos, nas condições controladas do viveiro e na presença de nutrição básica pelo fertilizante de liberação controlada (Basacote), não conferiu um diferencial de qualidade ou desenvolvimento que justifique sua inclusão no protocolo de produção em relação ao manejo padrão.

Essa inconsistência, potencializada pela não semeadura múltipla, gerou uma dispersão de dados que mascarou a ação potencial dos bioinsumos. Desta forma, o estudo evidencia que a qualidade intrínseca do lote é o requisito de manejo fundamental para o sucesso da produção inicial de acácia-negra. Recomenda-se que pesquisas futuras foquem rigorosamente na uniformização das mudas, permitindo que a ação dos bioinsumos possa ser adequadamente testada em estádios mais avançados, sendo realizada até mesmo a reaplicação dos produtos.

REFERÊNCIAS

AHMAD, J.S e BAKER, R. Competitive Saprophytic Ability and Celullolytic Activit of Rhizosphere – Compnente Mutans of *Trichoderma harzianum*. **Phytopatology**,v. 77, p.358, 1987.

AUCHMOODY, L. R. Effects of NPK fertilization on height, weight, and survival of red oak seedlings. (1972).

BARASSI, C. A.; SUELDO, R. J.; CREUS, C. M.; CARROZI, L. E.; CASANOVAS, E. M.; PEREIRA, M. A. Potencialidad de *Azospirillum* em optimizar el crecimiento vegetal bajo condiciones adversas. *Azospirillum* sp.: cell physiology, plant interactions and agronomic research in Argentina. Argentina: **Asociación Argentina de Microbiologia**, p. 49-59, 2008.

BENINTENDE, S.; UHRICH, W.; HERRERA, M.; GAGGE, F.; STERREN, M.; BENINTENDE, M. Comparación entre coinoculación con *Bradyrhizobium japonicum* y *Azospirillum brasilense* e inoculación simple con *Bradyrhizobium japonicul* em la nodulación, crecimiento y acumulación de N en el cultivo de soja. **Agriscientia**, Argentina, v. 27, n. 2, p. 71-77, 2010. DOI: https://doi.org/10.31047/1668.298x.v27.n2.2768

BENÍTEZ, T.; RINCÓN, A.M.; LIMÓN, M.C.; CODÓN, A.C. Biocontrol mechanisms of *Trichoderma* strains. **International Microbiology** v.7, p. 249-260, 2004.

BIANCHETTI, A.; ROSSI L. M. B.; TEXEIRA, C. A. D.; MARTINS, E. P. Produção de mudas de espécies florestais. **Embrapa** – CPAF Rondônia. Circular técnica, 1998.

BINOTTO, E. Qualidade de mudas de espécies florestais nativas, produzidas em diferentes recipientes e substratos, em duas épocas de semeadura. 2007. 100 f. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

BOLAND, D. J. Taxonomy of Australian bipinnate acacias: Section Botrycephalae, with a Key to Bipinnate Acacias. In: WORSHOP ON TAXONOMY ANO SEED HANDlING OF AUSTRAlIAN TREE SPECIES. 1985, Harare. **Proceedings**. Harare: IDRC. 5p.

BOLLAND, H. **Acacia mearnsii: folhagem juvenil**. 1985.

BRAÚNA, L. M. Controle biológico do mofo branco por isolados de *Trichoderma* nas culturas de soja e feijão comum. 2011. xii, 82 f., il. **Dissertação** (Mestrado em Fitopatologia) Universidade de Brasília, Brasília, 2011. Disponível em: http://repositorio.unb.br/handle/10482/11198

BROTMAN, Y.; GUPTA, K. J.; VITERBO, A. *Trichoderma*. **Current Biology**, v. 20, p. 390-391, 2010.

DICKSON, A. *et al*. **Avaliação da qualidade de mudas de abeto branco e pinheiro branco em viveiros**. Forestry Chronicle 36: 10-13. (1960).

CARNEIRO, J. G. A. **Produção e controle de qualidade de mudas florestais.** Curitiba: Universidade Federal do Paraná / FUPEF; Campos: UENF, 1995. 451 p.

CARNIEL, J. V. Respostas da soja á inoculação com *Bradyrhizobium japonicum* e *Azospirillum brasilense*. **Monografia**. Universidade Federal da Fronteira Sul, Campus Chapecó, 2022. Disponível em: https://rd.uffs.edu.br/handle/prefix/6091

COPETTI, J. F. Inoculação e coinoculação de *Azospirillum brasiliense e Bradyrhizobium japonicum*, em cultivares de soja de diferentes grupos de maturação. **Monografia**. Universidade Federal da Fronteira Sul, 2021. Disponível em: https://rd.uffs.edu.br/handle/prefix/4315

Dias, R. C. *et al.* **Substrato para produção de mudas florestais nativas**: uma revisão. (2017).

DUARTE, J. R. *et al.* Qualidade de mudas de Eucalyptus grandis sob diferentes doses de fosfato natural e organomineral. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 4, p. 696-702, 2012.

EMBRAPA. **Perguntas e respostas – Fixação biológica de nitrogênio**. Disponível em: https://www.embrapa.br/tema-fixacao-biologica-de-nitrogenio/perguntas-e-respostas

EMBRAPA. Fixação biológica de nitrogênio. **Embrapa Agrobiologia**, 2022. Disponível em: https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cana-de-acucar/producao/correcao-e-adubacao/fixacao-biologica-de-nitrogenio

FAGAN, E. B. *et al*. *Interaction Between Nitric Oxide and Silicon on Leghaemoglobin and S-Nitrosothiol Levels in Soybean Nodules.* **Biomolecules**, v. 14, n. 11, 1417, 2025.

FERLINI, H. A. Co-Inoculação em Soja (*Glicyne max*) com *Bradyrhizobium japonicum* y *Azospirillum brasilense*: **Agricultura**. [S.l.:s.n.], 2006. Disponível em: https://www.engormix.com/agricultura/inoculacion-soja/inoculacion-soja-glicyne max_a26446/

FREITAS, A. D. S. *et al*. Fixação biológica de nitrogênio no Semiárido Brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, p. 585-597, 2024.

FOREST PHYTOPHTHORAS. **Phytophthora nicotianae – disease**. 2023. Disponível em: https://forestphytophthoras.org/species/nicotianae/disease?utm_source=chatgpt.com

GARCIA, Ariani. Doses de *Bradyrhizobium japonicum* e *Azospirillum brasilense* no desenvolvimento das plantas, na produção e na qualidade fisiológica de sementes de soja. 2015. 54f. **Dissertação** (Sistema de Produção), Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2015.

GOMES, J. M.; COUTO, L.; SANTA MÁRIA, F. C. **Parâmetros técnicos para a produção de mudas de espécies florestais**. Viçosa: UFV, 2002.

GOMES, J.M.; PAIVA, H.N. **Viveiros florestais**: propagação sexuada. 3 ed. Viçosa: UFV. 2006. 116p.

HIGA, A. R.; RESENDE, A. V. **Acácia-negra:** solos e fertilidade. 1994.

HAASE, D. **Understanding forest seedling quality**: measurements and interpretation. Tree Planters' Notes. 52. 24-30 (2008).

HUNGRIA, M. Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja. Londrina: **Embrapa Soja,** 2001. 48p.

HUNGRIA, M. Inoculação com *Azospirillum brasiliense*: inovação em rendimento a baixo custo. Londrina: **Embrapa Soja**, 2011. 36 p.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. A importância do processo de fixação biológica do nitrogênio para a cultura da soja: componente essencial para a competitividade do produto brasileiro. Londrina: **Embrapa Soja**, 2007. 80 p.

LIMA, R. L. R.; LOPES, S. C.; MACEDO, M. B.; ARAÚJO, D. G.; CLEMENTE, J. M.; PEREIRA, M. F. C. Crescimento inicial de *Acacia mangium* em diferentes tipos de substrato e doses de adubo. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 4, p. 883-894, out./dez. 2015.

LUCON, C. M. M. *Trichoderma* no controle de doenças de plantas causadas por patógenos de solo. **Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Sanidade Vegetal,** 2008.

LUCON, C. M. M.; CHAVES, A. L. R.; BACILIERI, S. *Trichoderma*: o que é, para que serve e como usar corretamente na lavoura. **São Paulo**: Instituto Biológico, 2014. Disponível em: http://www.biologico.sp.gov.br/uploads/files/pdf/cartilhas/trichoderma.pdf

MACHADO, G. B.; CUNHA, M. A. F.; BOTEGA, R. B. Relações entre variáveis nas análises de sementes de espécies florestais nativas do Rio Grande do Sul. Ciência Rural, Santa Maria, v. 38, n. 3, p. 696-702, 2008.

MANTOEFEL, J. C. Reflorestamento no setor privado: Acacicultura. In: SEMINÁRIO SITUAÇÃO FLORESTAL DO RIO GRANDE DO SUL, 1; 1991, Santa Maria, **Anais** ... Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC, 1991. p. 108-114.

MARCHIORI, José Newton Cardoso. **Dendrologia das angiospermas**: leguminosas. Santa Maria: Ed. UFSM, 1997. 200p.

MARTINS-CORDER, Maisa Pimentel; BORGES, Rosito Zepenfeld; BORGES, Norton. Fotoperiodismo e quebra de dormência em sementes de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.). **Ciência Florestal**, v. 9, n. 1, p. 71-77, 1999. DOI: https://doi.org/10.5902/19805098367

MARTINS-CORDER, Maisa Pimentel; BORGES, Rosito Zepenfeld; BORGES, Norton. Fotoperiodismo e quebra de dormência em sementes de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.). **Ciência Florestal**, v. 9, n. 1, p. 71-77, 1999. DOI: https://doi.org/10.5902/19805098367

MATTOS, M. Promoção do crescimento de soja a partir da inoculação de sementes com microrganismos não moduladores. **Monografia**. Universidade Federal da Fronteira Sul, Campus Cerro Largo, 2017. Disponível em: https://rd.uffs.edu.br/handle/prefix/1877

MELO, I. S.; AZEVEDO, J. L. Controle biológico. Jaguariúna, SP: **EMBRAPA**, 2000. v.2: 388p.

MELO, I. S.; AZEVEDO, J. L. Controle Biológico. Jaguariúna, SP: **EMBRAPA**, 1998. v.1: 262p.

MENDES, L. C.; JUNIOR, F. B. R.; CUNHA, M. H. 20 Perguntas e respostas sobre a fixação de biológicas de nitrogênios. **Embrapa Cerrados**. Planaltina, DF, 2010.

MONTES, E.; BETTIOL, W.; HERMOSA, R.. *Trichoderma* e seus mecanismos de ação para o controle de doenças de plantas. In: MEYER, M.C. *et al*. ***Trichoderma****:* uso na agricultura. Brasília, DF: Embrapa, 2019. 538p. Acesso em 28 de abril 2025 http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1117296

MOREIRA, Fátima Maria de Souza Moreira; SILVA, Krisle da; NÓBREGA, Rafaela Simão Abrahão; CARVALHO, Fernanda de. Bactérias diazotróficas associativas: diversidade, ecologia e potencial de aplicações. **Comunicata Scientiae,** v. 1, n. 2, p. 74, 2010.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo.** 2. ed. Lavras: Ed. UFLA, 2006.

NOGUEIRA, M. A.; CUNHA, M. H. **Oportunidades e ameaças à FBN em leguminosas no Brasil**. 2013.

OLDROYD, G. E. D. *et al.* **Molecular mechanisms of nitrogen-fixing symbioses**. *Nature Reviews Microbiology*, v. 22, p. 403–420, 2024.

PAULINO, G. M. *et al*. **Fixação biológica e transferência de nitrogênio por leguminosas em pomar orgânico**. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 44, n. 12, p. 1598-1607, 2010.

PEREIRA, M. G.; SANTOS, C. R. S.; FREITAS, A. D. S.; STAMFORD, N. P.; ROCHA, G. S. D. C.; BARBOSA, A. T. Interações entre fungos micorrízicos arbusculares, rizóbios e actinomicetos na rizosfera de soja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, PB. v.17, n.12, p.1249-1256, 2013.

PIMENTEL-GOMES, F. Curso de Estatística Experimental. 15. ed. Piracicaba: FEALQ, 2009.

RICHTER, A. F. Crescimento de mudas de morangueiro através da inoculação de *Trichoderma*, rizóbios e incorporação de silício. **Monografia**. Universidade Federal da Fronteira Sul, 2015.

RIEGEL, Izabel; MOURA, Angela D. B.; MORISSO, Fernando Dal Pont; MELLO, Fabiano de Souza. Análise termogravimétrica da pirólise da Acácia-negra (*Acacia mearnsii* de Wild) cultivada no Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Árvore,** v. 32, p. 533-543,2008. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-67622008000300014

RITCHIE, G. A. (1985). ***Relationship between seedling quality and field performance***. In: Forest Nursery Planning, Development and Management.

ROY, S. *et al. Molecular dialogue in legume-rhizobium symbiosis: Signaling mechanisms and genetic insights.* **Journal of Plant Symbiosis Research**, 2025. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2452219825000199

SANTOS, Flávia Elise Meneghini dos; SOBROSA, Rita de Cassia; COSTA, Ivan Francisco D.; MARTINS CORDER, Maisa Pimentel. Detecção de fungos patogênicos em sementes de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild). **Ciência Florestal**, v. 11, n. 1, p. 13-20, 2001. DOI: https://doi.org/10.5902/19805098491

SANTOS, A. F. dos; LUZ, E. D. M. N. A gomose da acácia-negra no Brasil. Summa Phytopathologica, v.33, n.2, p.113-118, 2007.

SCHONAU, A. P. G. **A site evaluation study in Black Wattle (*Acacia mearnsii* De Wild.)**. Ann. Univ. Von Stellenbosch, v.44, n.2, p.1-214, 1969.

SILVA, Danielle Karla Alves da; SILVA, Fábio Sérgio Barbosa da; YANO-MELO, Adriana Mayumi; MAIA, Leonor Costa. Uso de vermicomposto favorece o crescimento de mudas de gravioleira (*Annona muricata* L. 'Morada') associadas a fungos micorrízicos arbusculares. **Acta Botânica Brasiliensis**, São Paulo, v. 22, n.3, p.863-869, 2008. DOI: https://doi.org/10.1590/S0102-33062008000300021

SILVA, R. B.; MATOS, V. P.; FARIAS, S. G. G.; SENA, L. H. M.; OLIVEIRA SILVA, D. Y. Germinação e vigor de plântulas de *Parkia platycephala* Benth. em diferentes substratos e temperaturas. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 48, n. 1, p.142-150, mar. 2017.

SIMON, A. A. A cadeia produtiva da acácia-negra, aspectos econômicos, sociais e ambientais. In: REFLORESTAMENTO E RECUPERAÇÃO AMBIENTAL. Ambiente e tecnologia: o desenvolvimento sustentável em foco. 2005, Lajeado. **Anais**... Lajeado: UNIVATES, 2005. p.149-166.

STURION, J. A.; ANTUNES, J. B. M. Capítulo 7: Produção de Mudas de Espécies Florestais. **Embrapa Florestas**, p.125-150, 2000.

SCHUMACHER, M. V.; GOMES, D. R. (2011). *Qualidade de mudas de espécies florestais.* **Revista de Ciências Agroveterinárias** (Artigo Científico).

TEDESCO, V. Panorama e perspectiva de uso de *Trichoderma* spp. no manejo de patógenos radiculares com Ênfase na cultura da soja. **Trabalho de Conclusão de Especialização**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010. Disponível em: http://hdl.handle.net/10183/24274

VARGAS, L.K. *et al.* Diversidade genética e eficiência simbiótica de rizóbios noduladores de acácia-negra de solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p.647-654, 2007.

VILLELA, Alexandre Terracciano. Evalution of organic substrates for the production of black acacia (*Acacia mearnsii* of Wild) seedlings.. 2007. 62 f. **Dissertação (Mestrado em Agronomia)** - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2007.

ANEXO A – ANOVAs do experimento

- Variável altura:

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Tratamento	7	4,105788	0,586541	1,307	0,2954
Blocos	3	2,105462	0,701821	1,563	0,2279
erro	21	9,426737	0,448892	-	-
Total corrigido	31	15,637987	-	-	-
CV (%)	27,01				
Média geral	2,4806250	N° de observações:			32

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

- Variável diâmetro:

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Tratamento	7	1,51765	0,216807	1,110	0,3932
Blocos	3	0,505900	0,168633	0,863	0,4755
erro	21	4,102250	0,195345	-	-
Total corrigido	31	6,125800	-	-	-
CV (%)	59,53				
Média geral	0,7425000	N° de observações:			32

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

- Variável comprimento:

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Tratamento	7	18,111922	2,587417	1,051	0,4274
Blocos	3	5,636284	1,878761	0,763	0,5274
erro	21	51,706591	2,462219	-	-
Total corrigido	31	75,454797	-	-	-
CV (%)	25,13				
Média geral	6,2453125	N° de observações:			32

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

- Variável matéria seca da raiz:

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Tratamento	7	0,835422	0,119346	0,719	0,6574
Blocos	3	1,565509	0,521836	3,143	0,0467
erro	21	3,486566	0,166027	-	-
Total corrigido	31	5,887497	-	-	-
CV (%)	43,33				
Média geral	0,9403125	N° de observações:			32

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).