

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL

CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL

GEDEAN SILVA CANDIDO

**CARACTERÍSTICAS BIOMÉTRICAS, MORFOLÓGICAS E ESPECTRAIS DE
SEMENTES ASSOCIADAS À FORMAÇÃO E À QUALIDADE DE MUDAS DE
Hymenaea courbaril L.**

Chapadão do Sul – MS

2026

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL

CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL

**CARACTERÍSTICAS BIOMÉTRICAS, MORFOLÓGICAS E ESPECTRAIS DE
SEMENTES ASSOCIADAS À FORMAÇÃO E À QUALIDADE DE MUDAS DE
Hymenaea courbaril L.**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal de
Mato Grosso do Sul, Câmpus de Chapadão
do Sul, como requisito parcial para
obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Gileno Brito de
Azevedo.

Chapadão do Sul – MS



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

AUTOR: **Gedean Silva Candido.**

ORIENTADOR: **Prof. Dr. Gileno Brito de Azevedo.**

Aprovado pela Banca Examinadora como parte das exigências do Componente Curricular Não Disciplinar TCC, para obtenção do grau de BACHAREL EM ENGENHARIA FLORESTAL, pelo curso de Bacharelado em Engenharia Florestal da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campus de Chapadão do Sul.

Prof. Dr. Gileno Brito de Azevedo
Presidente da Banca Examinadora e Orientador

Prof. Dra. Charline Zaratín Alves
Membro da Banca Examinadora

Eng^a. Agr. Dra. Dthenifer Cordeiro Santana
Membro da Banca Examinadora

Chapadão do Sul, 24 de julho de 2026.

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Gileno Brito de Azevedo, Professor do Magisterio Superior**, em 24/07/2026, às 11:44, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Charline Zaratín Alves, Professora do Magistério Superior**, em 24/07/2026, às 13:10, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA
MÁXIMA
NO MEC

UFMS
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Dthenifer Cordeiro Santana, Usuário Externo**, em 25/07/2026, às 06:28, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

Certificado 6547262

SEI 23455.000559/2026-34 / pg. 1



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufms.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **6547262** e o código CRC **5D32FDDD**.

COORDENAÇÃO DE GESTÃO ACADÊMICA DO CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL

Avenida Engenheiro Douglas Ribeiro Pantaleão, nº 5167

Fone:

CEP 79560-000 - Chapadão do Sul - MS

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pela vida, pela oportunidade de estudar e por me conceder força, coragem e perseverança para enfrentar os desafios ao longo dessa caminhada. Acredito que Deus abriu as portas para que eu chegasse até aqui, e a mim coube fazer a minha parte, com dedicação, esforço e fé.

À minha família, meu mais sincero agradecimento pelo amor, incentivo e apoio incondicional. À minha esposa, Fabíola Narciso, pelo companheirismo, compreensão e por caminhar ao meu lado em todos os momentos. À minha filha, Catarina Narciso da Silva, minha maior inspiração e motivação para buscar um futuro melhor. À minha mãe, Maria Hilda, por todo o carinho, pelos ensinamentos e por sempre acreditar em mim. Aos meus irmãos, Gerson Silva, Jani Silva e Mikael Wenderson, pelo incentivo, amizade e por compartilharem essa caminhada comigo. Esta conquista também é de vocês.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Gileno Brito de Azevedo, minha sincera gratidão pela confiança, orientação, dedicação e pelos ensinamentos compartilhados ao longo de toda a graduação e por contribuir de forma significativa para minha formação acadêmica, profissional e pessoal.

A todos os professores do curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), meus sinceros agradecimentos pelos ensinamentos, pela dedicação e por contribuírem para minha formação acadêmica. Agradeço também ao grupo de estudos GEMFLOS, pela oportunidade de aprendizado e troca de experiências.

À Profa. Dra. Charline Zaratín Alves e à Dra. Dthenifer Cordeiro Santana, agradeço pela atenção, pelos ensinamentos e por todo o apoio oferecido ao longo da graduação, contribuindo de diferentes formas para minha formação.

Aos meus amigos da graduação, pela convivência, pelas experiências compartilhadas, e por fim, agradeço à Germiverde Sementes, pelo apoio durante a realização desta pesquisa e por contribuir para que este trabalho pudesse ser desenvolvido.

Características biométricas, morfológicas e espectrais de sementes associadas à formação e à qualidade de mudas de *Hymenaea courbaril* L.

Resumo: A qualidade das sementes é um fator determinante para o sucesso da produção de mudas florestais, influenciando diretamente a emergência, o vigor e o estabelecimento inicial das plantas. Nesse contexto, a integração de características biométricas, descritores morfológicos obtidos por análise digital de imagens e variáveis espectrais pode ampliar a compreensão das relações entre as sementes e o desempenho das mudas. Este estudo teve como objetivo avaliar as associações entre características biométricas, descritores morfológicos obtidos por análise digital de imagens e variáveis espectrais de sementes de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) e a formação e a qualidade das mudas. Foram utilizadas 237 sementes, nas quais foram mensuradas variáveis biométricas, descritores morfológicos obtidos pelo software ImageJ® e assinaturas espectrais na faixa de 350 a 2200 nm. Após a superação da dormência, as sementes foram semeadas em tubetes e as mudas avaliadas quanto à emergência, crescimento e Índice de Qualidade de Dickson. Os dados foram analisados por estatística descritiva, correlação de Spearman, regressão logística, regressão linear e modelos aditivos generalizados. A massa e a largura das sementes apresentaram associação positiva com a formação de mudas, enquanto descritores morfológicos, especialmente área, diâmetro mínimo de Feret, perímetro e razão de aspecto, apresentaram maior capacidade de explicar a variação do Índice de Qualidade de Dickson. As variáveis espectrais apresentaram associações em comprimentos de onda específicos com características das mudas, fornecendo informações complementares às análises biométricas e morfológicas. Conclui-se que a integração dessas abordagens amplia a caracterização das sementes e contribui para a compreensão da formação e da qualidade de mudas de jatobá.

Palavras-chave: tecnologia de sementes; espectroscopia; jatobá; análise de imagens; Índice de Qualidade de Dickson.

Biometric, morphological and spectral characteristics of seeds associated with the establishment and quality of *Hymenaea courbaril* L. seedlings

Abstract: Seed quality is a determining factor for the successful production of forest seedlings, directly influencing seedling emergence, vigor, and early plant establishment. In this context, the integration of biometric characteristics, morphological descriptors obtained through digital image analysis, and spectral variables can improve the understanding of the relationships between seeds and seedling performance. This study aimed to evaluate the associations between biometric characteristics, morphological descriptors obtained through digital image analysis, and spectral variables of jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) seeds and seedling formation and quality. A total of 237 seeds were evaluated, in which biometric variables, morphological descriptors obtained using the ImageJ® software, and spectral signatures within the 350–2200 nm wavelength range were measured. After dormancy-breaking treatment, the seeds were sown in tubes, and the seedlings were evaluated for emergence, growth, and Dickson Quality Index. Data were analyzed using descriptive statistics, Spearman's correlation, logistic regression, linear regression, and generalized additive models. Seed mass and width showed positive associations with seedling formation, whereas morphological descriptors, particularly area, minimum Feret diameter, perimeter, and aspect ratio, showed greater ability to explain the variation in the Dickson Quality Index. Spectral variables showed associations at specific wavelengths with seedling characteristics, providing complementary information to biometric and morphological analyses. It was concluded that the integration of these approaches enhances seed characterization and contributes to a better understanding of jatobá seedling formation and quality.

Keywords: seed technology; spectroscopy; jatobá; image analysis; Dickson Quality Index.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. MATERIAL E MÉTODOS	2
2.1 Local de condução do experimento	2
2.2 Origem das sementes	2
2.3 Obtenção das variáveis das sementes	3
2.3.1 Caracterização biométrica	3
2.3.2 Aquisição e processamento das imagens digitais	4
2.3.3 Obtenção da assinatura espectral	6
2.4 Produção das mudas	6
2.5 Avaliação do crescimento das mudas.....	7
2.6 Análise dos dados.....	8
2.6.1 Análise exploratória dos dados.....	8
2.6.2 Influência das características das sementes na formação das mudas	8
2.6.3 Influência das características das sementes na qualidade das mudas	9
3. RESULTADOS	9
3.1 Características das sementes e correlação com a formação e qualidade das mudas	9
3.2 Influência das características das sementes na formação de mudas	14
3.3 Influência das características das sementes na qualidade das mudas.....	15
4. DISCUSSÃO	18
4.1 Influência da massa e da largura das sementes na formação de mudas	18
4.2 Descritores morfológicos obtidos por análise digital de imagens e qualidade das mudas	19
4.3 Variáveis espectrais e sua associação com a qualidade das mudas.....	21
4.4 Síntese dos resultados e perspectivas futuras.....	22
5. CONCLUSÕES	23
6. REFERÊNCIAS.....	23

1. INTRODUÇÃO

A produção de mudas de espécies florestais nativas desempenha papel fundamental no atendimento às demandas de restauração ecológica, recuperação de áreas degradadas, arborização e outros plantios com finalidades ambientais e econômicas. Nesse contexto, a qualidade das sementes influencia diretamente a germinação, o estabelecimento inicial das plântulas e o desempenho das mudas. Assim, compreender como características biométricas, morfológicas e espectrais das sementes se relacionam com a formação e a qualidade das mudas pode contribuir para o aprimoramento de sua avaliação e para o avanço das tecnologias aplicadas à produção de mudas de espécies florestais (Junges et al., 2016).

Entre as diferentes abordagens utilizadas na avaliação da qualidade de sementes, a biometria destaca-se por fornecer informações sobre atributos físicos, como comprimento, largura, espessura e massa, permitindo caracterizar a variabilidade entre sementes e entre lotes. Essas características auxiliam na caracterização física das sementes e na compreensão de sua relação com a germinação e o desenvolvimento inicial das plântulas, constituindo uma ferramenta importante para estudos em tecnologia de sementes (Felix et al., 2023).

Embora a biometria convencional forneça informações relevantes, sua obtenção por meio de mensurações manuais limita a quantidade de atributos avaliados e demanda maior tempo de processamento. Nesse contexto, a análise digital de imagens tem se consolidado como uma ferramenta rápida, objetiva e não destrutiva, permitindo a extração simultânea de diversos descritores morfológicos relacionados ao tamanho, à forma e à geometria das sementes. Essa abordagem amplia a caracterização morfológica das sementes e fornece descritores quantitativos que podem auxiliar na compreensão de atributos associados ao desenvolvimento inicial das plântulas (Medeiros et al., 2020; ElMasry et al., 2019).

Além das informações morfológicas obtidas por meio da análise digital de imagens, técnicas espectrais têm ampliado as possibilidades de avaliação não destrutiva de sementes. A espectrorradiometria permite a obtenção da assinatura espectral das sementes por meio da medição da reflectância em diferentes comprimentos de onda. Quando associadas a métodos estatísticos e quimiométricos, essas informações podem complementar a caracterização das sementes e ampliar a

compreensão das relações entre suas características e o desempenho das mudas (Mortensen et al., 2021; Reddy et al., 2022).

Apesar dos avanços nessas abordagens, ainda são escassos os estudos que integram biometria, análise digital de imagens e informações espectrais na avaliação de sementes de espécies florestais nativas. O jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) é uma espécie arbórea amplamente distribuída no Brasil e possui elevada importância ecológica, econômica e sociocultural, sendo utilizada em programas de restauração florestal, além de apresentar potencial madeireiro, alimentar e medicinal (Coelho Gonçalves et al., 2026). Dessa forma, compreender a relação entre as características de suas sementes e o desempenho das mudas pode contribuir para o aperfeiçoamento das estratégias de propagação, conservação e uso sustentável da espécie (Mojena; Barreto, 2021).

Diante desse contexto, este estudo teve como objetivo avaliar a associação entre características biométricas, morfológicas e espectrais de sementes de jatobá (*H. courbaril* L.) na formação e qualidade das mudas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local de condução do experimento

O experimento foi conduzido entre abril e outubro de 2025 na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), Campus de Chapadão do Sul, localizado no município de Chapadão do Sul, Mato Grosso do Sul, Brasil, nas coordenadas 18°46'17,8" S e 52°37'27,7" W, com altitude de 813 m. Segundo a classificação climática de Köppen, o clima da região é do tipo Aw, caracterizado como tropical úmido, com verão chuvoso e inverno seco. A precipitação média anual varia entre 1.200 e 1.500 mm, enquanto a temperatura média anual é de aproximadamente 23 °C (INMET, 2025).

2.2 Origem das sementes

O estudo utilizou sementes de jatobá cedidas pela empresa Germiverde Sementes, localizada no município de Buritama, estado de São Paulo. O material vegetal foi proveniente do lote comercial JAT/56, produzido a partir da homogeneização de sementes coletadas em diferentes áreas localizadas nos

municípios de Rinópolis e Penápolis, estado de São Paulo, conforme procedimento adotado pela empresa para a formação de lotes comerciais.

A coleta dos frutos foi realizada em 29 de agosto de 2024 e o beneficiamento ocorreu em 5 de setembro de 2024. Inicialmente, os frutos foram quebrados mecanicamente para a extração das sementes. Em seguida, as sementes permaneceram imersas em água por 24 horas, sendo posteriormente lavadas em água corrente. Após essa etapa, foram submetidas à secagem durante dois dias em estrutura coberta por filme plástico agrícola e sombrite, com laterais protegidas por tela de sombreamento, proporcionando ventilação natural durante o processo. Posteriormente, realizou-se a limpeza e seleção das sementes, seguida de sua homogeneização para composição do lote comercial. Após o beneficiamento, o lote permaneceu armazenado em câmara fria, sob temperatura entre 8 e 12 °C, entre o final de setembro de 2024 e o início de abril de 2025, quando tiveram início as avaliações experimentais.

Para a condução deste estudo, foram utilizadas 237 sementes, selecionadas aleatoriamente, destinadas à produção de mudas em tubetes de 290 cm³. Cada semente recebeu identificação individual, garantindo sua rastreabilidade durante todas as etapas experimentais. Essa identificação permitiu relacionar as características biométricas, os descritores morfológicos obtidos por análise digital de imagens e os atributos espectrais de cada semente com a emergência e a qualidade das mudas.

2.3 Obtenção das variáveis das sementes

2.3.1 Caracterização biométrica

A caracterização biométrica foi realizada individualmente nas 237 sementes de *H. courbaril*. Foram mensurados o comprimento (com), a largura (lar) e a espessura (esp) utilizando paquímetro digital, com os resultados expressos em milímetros (mm). O comprimento foi obtido no maior eixo longitudinal da semente, a largura no eixo transversal e a espessura no eixo dorsoventral.



Figura 1. Obtenção das variáveis biométricas em sementes de jatobá. (A) mensuração do comprimento; (B) mensuração da largura; (C) mensuração da espessura, utilizando paquímetro digital; e (D) determinação da massa individual em balança semianalítica.

A massa individual das sementes (pes) foi determinada em balança semianalítica (Marte, modelo UX420H), com precisão de 0,001 g, sendo os resultados expressos em gramas (g). Ao final dessa etapa, foram obtidas quatro variáveis biométricas para cada semente: comprimento, largura, espessura e massa individual.

2.3.2 Aquisição e processamento das imagens digitais

As imagens das sementes foram obtidas utilizando um smartphone Galaxy S23 (Samsung), com resolução de 4000×2252 pixels e armazenadas no formato JPG. Para a aquisição das imagens, as sementes foram distribuídas individualmente sobre uma placa de EVA azul contendo marcações em grade, sendo fotografadas em grupos de 50 sementes. A câmera foi posicionada perpendicularmente ao plano das sementes, mantendo distância aproximada de 30 a 40 cm. Em cada imagem foi incluído um objeto de dimensão conhecida (lâmina de barbear), utilizado posteriormente para a calibração da escala no software ImageJ® (Schneider et al., 2012).

As imagens foram processadas por meio da calibração da escala utilizando a ferramenta *Set Scale*. Em seguida, foram convertidas para escala de cinza (8 bits) e submetidas ao ajuste do limiar (*Threshold*) para segmentação das sementes em relação ao fundo. Após a definição dos parâmetros de mensuração (*Set Measurements*), cada semente foi selecionada individualmente por meio da

ferramenta de seleção automática (*Wand Tool*), sendo posteriormente realizada a mensuração automática das variáveis: área (are), perímetro (per), Feret (fer), Feret mínimo (mfe), circularidade (cir), arredondamento (are), solidez (sol) e aspect ratio (ar). Essas variáveis representam diferentes atributos morfológicos das sementes. A área corresponde à superfície projetada da semente; o perímetro representa o comprimento do seu contorno; o diâmetro de Feret corresponde à maior distância entre dois pontos do contorno da semente; o diâmetro mínimo de Feret representa a menor distância perpendicular ao diâmetro de Feret; a circularidade indica o quanto a forma da semente se aproxima de um círculo; o arredondamento expressa o grau de arredondamento da semente; a solidez corresponde à relação entre a área da semente e a área do seu envoltório convexo; e a razão de aspecto (Aspect Ratio) representa a relação entre o maior e o menor eixo da semente.

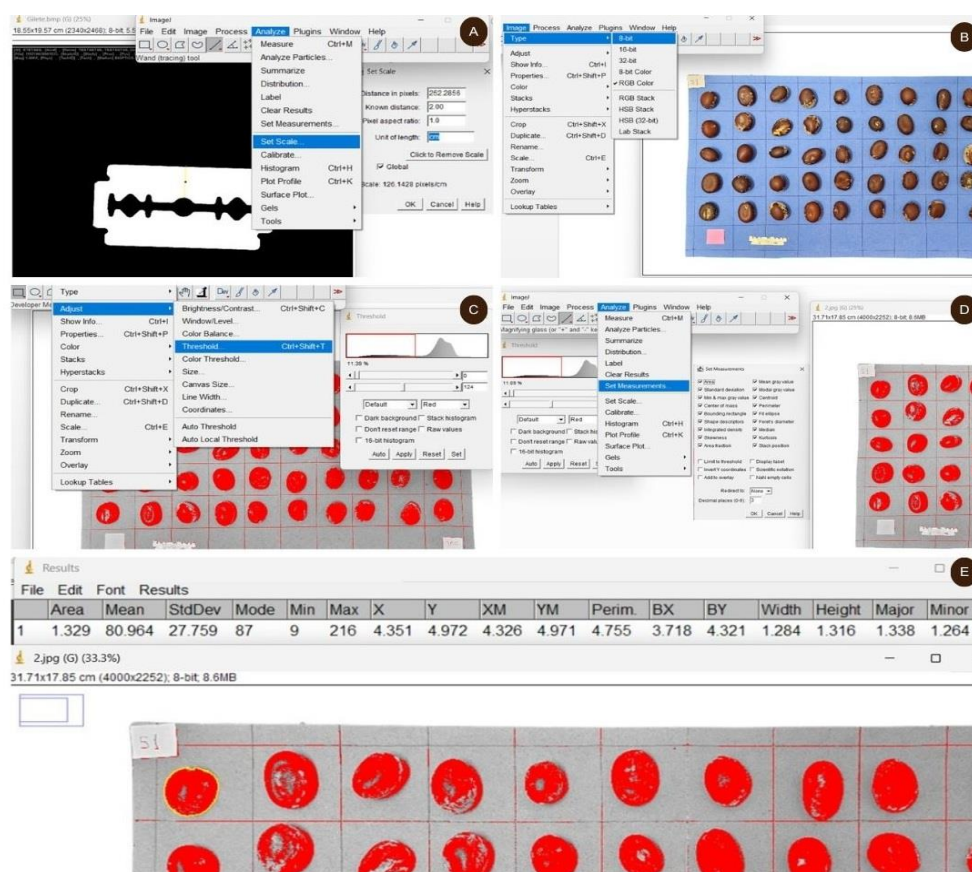


Figura 2. Fluxo de aquisição e processamento das imagens digitais utilizando o software ImageJ®. (A) imagem original das sementes; (B) calibração da escala; (C) conversão para escala de cinza (8 bits); (D) segmentação das sementes por meio da ferramenta *Threshold*; (E) definição das variáveis a serem mensuradas (*Set Measurements*); e (F) obtenção dos descritores morfológicos individuais.

2.3.3 Obtenção da assinatura espectral

A assinatura espectral das sementes foi obtida individualmente utilizando um espectrorradiômetro Ocean Optics (Ocean Insight, EUA), constituído pelos sensores STS VIS e Flame, abrangendo a faixa espectral de 350 a 2200 nm. As sementes foram distribuídas sobre uma placa de EVA azul contendo marcações em grade, sendo a leitura realizada individualmente por meio de uma sonda óptica posicionada sobre cada semente. A aquisição dos dados foi realizada utilizando a fonte de iluminação do próprio equipamento, sendo previamente efetuada a calibração do sistema conforme as recomendações do fabricante.

Cada semente foi submetida a uma única leitura espectral, sendo registrados os valores de reflectância para cada comprimento de onda compreendido entre 350 e 2200 nm. Esse conjunto de dados constituiu a assinatura espectral individual de cada semente.

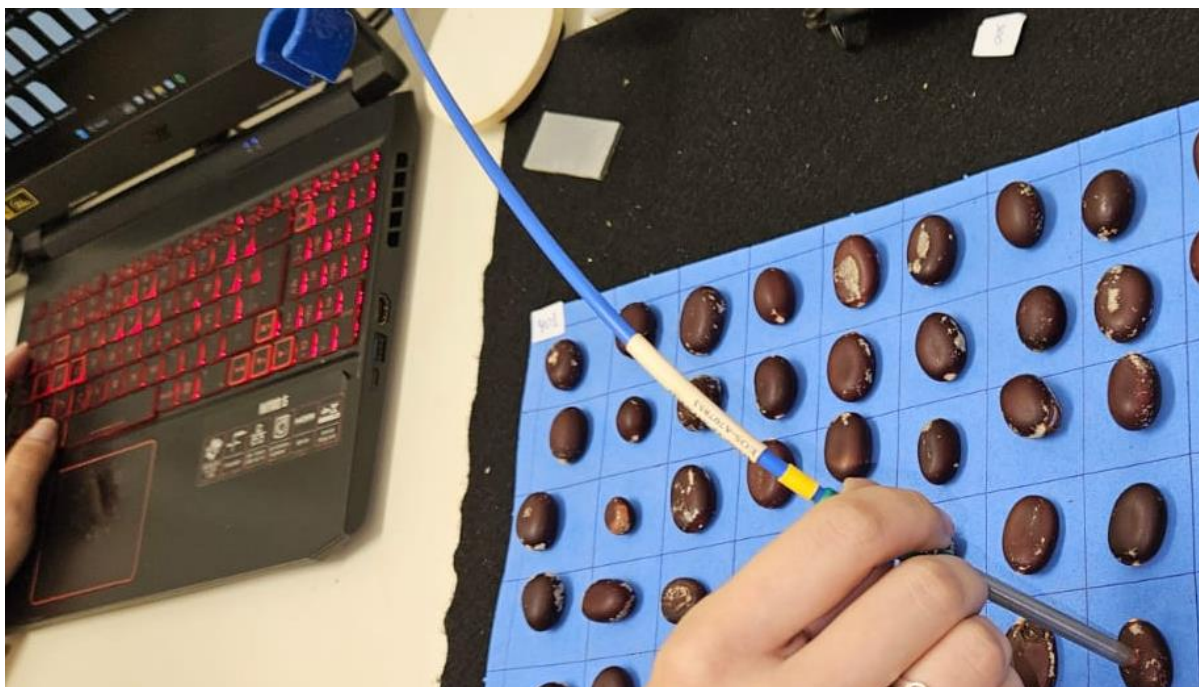


Figura 3. Obtenção da assinatura espectral das sementes de *Hymenaea courbaril*. Posicionamento da sonda óptica durante a leitura individual das sementes.

2.4 Produção das mudas

Para a produção das mudas, foram utilizadas as mesmas sementes de jatobá avaliadas nas etapas anteriores. Antes da semeadura, as sementes foram

submetidas à superação da dormência por escarificação mecânica, utilizando lixa para madeira nº 100 na região oposta ao hilo. Em seguida, realizou-se a desinfestação superficial por imersão em solução de hipoclorito de sódio a 1% da solução comercial (2,5% de cloro ativo) durante três minutos, seguida de três lavagens em água corrente.

A semeadura foi realizada em tubetes de polipropileno com capacidade volumétrica de 290 cm³, preenchidos com substrato comercial Carolina Soil®, previamente adubado com 102 g de fertilizante NPK 04-14-08 por saco de 45 L de substrato, equivalente a 2,27 kg m⁻³, conforme recomendação para produção de mudas florestais.

As mudas permaneceram em casa de vegetação coberta com tela de sombreamento de 50%, sendo irrigadas por sistema de microaspersão, com três irrigações diárias. Aproximadamente 40 dias após a emergência, foram transferidas para cultivo em pleno sol, permanecendo nessa condição até 180 dias após a semeadura.

2.5 Avaliação do crescimento das mudas

A formação de mudas foi avaliada registrando-se, para cada semente, a presença ou ausência de mudas aos 180 dias após a semeadura. As avaliações de crescimento foram realizadas nessa mesma ocasião, considerando apenas as mudas formadas. Foram mensuradas a altura da parte aérea (H) e o diâmetro do colo (D). A altura foi determinada utilizando régua graduada, considerando a distância entre o colo e o ápice da muda, com os resultados expressos em centímetros (cm), enquanto o diâmetro do colo foi obtido com paquímetro digital, em milímetros (mm).

Ao final do período experimental, permaneceram 191 mudas, utilizadas para a determinação da massa seca da aérea (MSA), massa seca da raiz (MSR), massa seca total (MST) e do Índice de Qualidade de Dickson (IQD). A redução no número de mudas ocorreu em decorrência da deterioração de algumas sementes após a semeadura, ataque de insetos e mortalidade de mudas durante o período de cultivo. As mudas foram coletadas e separadas em parte aérea e raiz, sendo o material vegetal submetido à secagem em estufa de circulação forçada de ar, à temperatura de 65 °C, durante cinco dias. Após esse período, a massa seca de cada fração foi

determinada em balança analítica com precisão de 0,0001 g, sendo a massa seca total obtida pela soma da massa seca da parte aérea e da raiz.

O Índice de Qualidade de Dickson (IQD) foi calculado conforme proposto por Dickson et al. (1960), utilizando a Equação 1. O IQD integra diferentes atributos morfológicos das mudas em um único indicador, sendo amplamente empregado na área florestal por considerar simultaneamente o crescimento da muda e o equilíbrio entre a parte aérea e o sistema radicular.

$$IQD = MST / ((H / D) + (MSA / MSR)) \quad (\text{Equação 1})$$

em que: MST = massa seca total (g); H = altura da muda (cm); D = diâmetro do coleto (mm); MSA = massa seca aérea (g); e MSR = massa seca da raiz (g).

2.6 Análise dos dados

2.6.1 Análise exploratória dos dados

Inicialmente, foi realizada uma análise exploratória do banco de dados por meio de estatísticas descritivas e gráficos do tipo boxplot, visando caracterizar a distribuição das variáveis obtidas nas sementes e sua relação com a formação e a qualidade das mudas. Posteriormente, foi calculada uma matriz de correlação utilizando o coeficiente de correlação de Spearman, com o objetivo de avaliar a associação entre as variáveis biométricas, os descritores morfológicos obtidos por análise digital de imagens, as variáveis espectrais e as características das mudas.

2.6.2 Influência das características das sementes na formação das mudas

A influência das características das sementes sobre a formação de mudas aos 180 dias após a semeadura foi avaliada por meio do ajuste de modelos de regressão logística univariados, utilizando distribuição binomial e função de ligação *logit*. Foi ajustado um modelo para cada variável obtida nas sementes. Para cada modelo foram estimados os coeficientes de regressão, a razão de chances (*Odds Ratio* – OR), os respectivos intervalos de confiança de 95% e os valores de *p*. O desempenho dos modelos foi avaliado pela redução da deviance (Δ Deviance) em relação ao modelo nulo, permitindo identificar as variáveis com maior capacidade de explicar a formação das mudas.

2.6.3 Influência das características das sementes na qualidade das mudas

A influência das características das sementes sobre o Índice de Qualidade de Dickson (IQD) foi avaliada por meio de modelos de regressão linear univariados. Foi ajustado um modelo para cada variável obtida nas sementes. Para cada modelo foi estimado o coeficiente de determinação (R^2), permitindo identificar as variáveis com maior capacidade de explicar a variação do IQD.

Considerando que parte das relações entre as características das sementes e o IQD poderia apresentar comportamento não linear, também foram ajustados modelos aditivos generalizados (Generalized Additive Models – GAM), utilizando o pacote mgcv (Wood, 2017), no ambiente R, versão 4.4.1 (R Core Team, 2024). Para esses modelos foram avaliados o coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), o grau efetivo de liberdade (*effective degrees of freedom – edf*) e a significância estatística dos termos suavizados.

3. RESULTADOS

3.1 Características das sementes e correlação com a formação e qualidade das mudas

As variáveis biométricas apresentaram ampla variação entre as sementes avaliadas, evidenciando a heterogeneidade do lote utilizado no estudo. De modo geral, as sementes que resultaram na formação de mudas apresentaram maiores valores médios de massa (+5,37%), comprimento (+2,72%) e largura (+2,79%) em relação às sementes que não formaram mudas. Em contrapartida, a espessura apresentou comportamento inverso, com redução média de 1,71% nas sementes que formaram mudas (Figura 4).

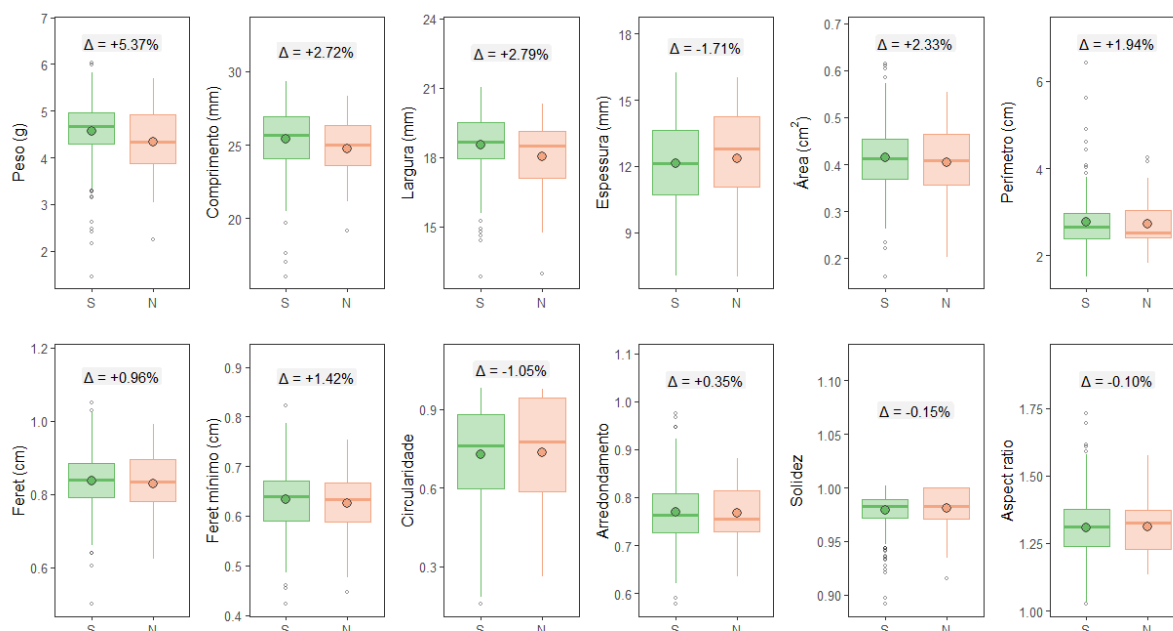


Figura 4. Distribuição das variáveis biométricas obtidas por mensuração manual e das variáveis morfológicas obtidas por análise digital de imagens de sementes de *Hymenaea courbaril* que formaram (S) e não formaram (N) mudas aos 180 dias após a semeadura. Os valores de Δ representam a diferença percentual entre as médias dos grupos.

Os descritores morfológicos obtidos por análise digital de imagens apresentaram diferenças menos expressivas entre os grupos. As sementes que formaram mudas apresentaram maiores valores médios para área (+2,33%), perímetro (+1,94%), diâmetro de Feret (+0,96%) e Feret mínimo (+1,42%). Por outro lado, circularidade (-1,05%), arredondamento (+0,35%), solidez (-0,15%) e razão de aspecto (-0,10%) apresentaram variações reduzidas entre sementes que formaram e não formaram mudas (Figura 4).

A Figura 5 apresenta a distribuição dos valores de diâmetro do colo, altura, massa seca da parte aérea, massa seca da raiz, massa seca total e Índice de Qualidade de Dickson (IQD) das mudas de *H. courbaril* avaliadas aos 180 dias após a semeadura. Observa-se variabilidade entre os indivíduos para todas as características de crescimento e biomassa avaliadas, indicando diferenças no desenvolvimento das mudas ao final do período experimental.

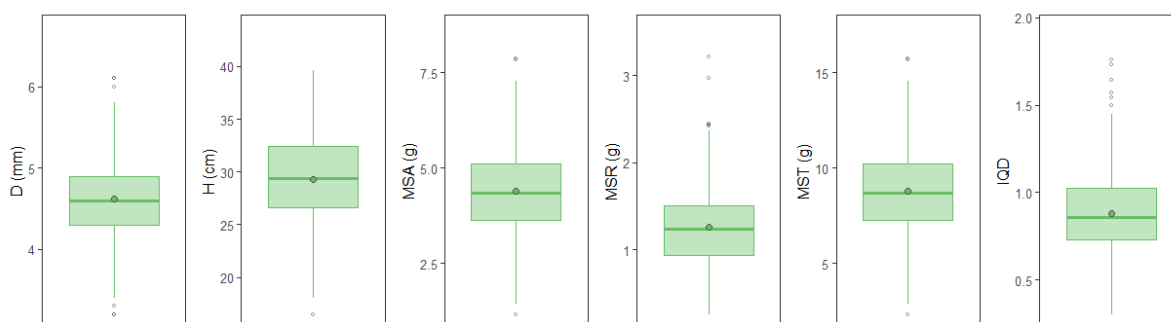


Figura 5. Distribuição do diâmetro do colo (D), altura (H), massa seca da parte aérea (MSA), massa seca da raiz (MSR), massa seca total (MST) e Índice de Qualidade de Dickson (IQD) das mudas de *Hymenaea courbaril* avaliadas aos 180 dias após a semeadura.

A matriz de correlação incluiu variáveis biométricas obtidas por mensuração manual (massa, comprimento, largura e espessura), descritores morfológicos obtidos por análise digital de imagens (área, perímetro, diâmetro de Feret, diâmetro mínimo de Feret, circularidade, arredondamento, solidez e razão de aspecto), características das mudas (diâmetro do colo, altura da parte aérea, massa seca da parte aérea, massa seca da raiz e massa seca total), além do Índice de Qualidade de Dickson (IQD) e da formação de mudas. A matriz evidenciou associações significativas entre essas variáveis. Considerando as variáveis resposta, massa, comprimento e largura das sementes apresentaram correlação positiva com a formação de mudas aos 180 dias após a semeadura, enquanto a espessura apresentou correlação positiva com o Índice de Qualidade de Dickson (IQD). Em contraste, área, perímetro, diâmetro de Feret e diâmetro mínimo de Feret apresentaram correlações negativas com o IQD (Figura 6).

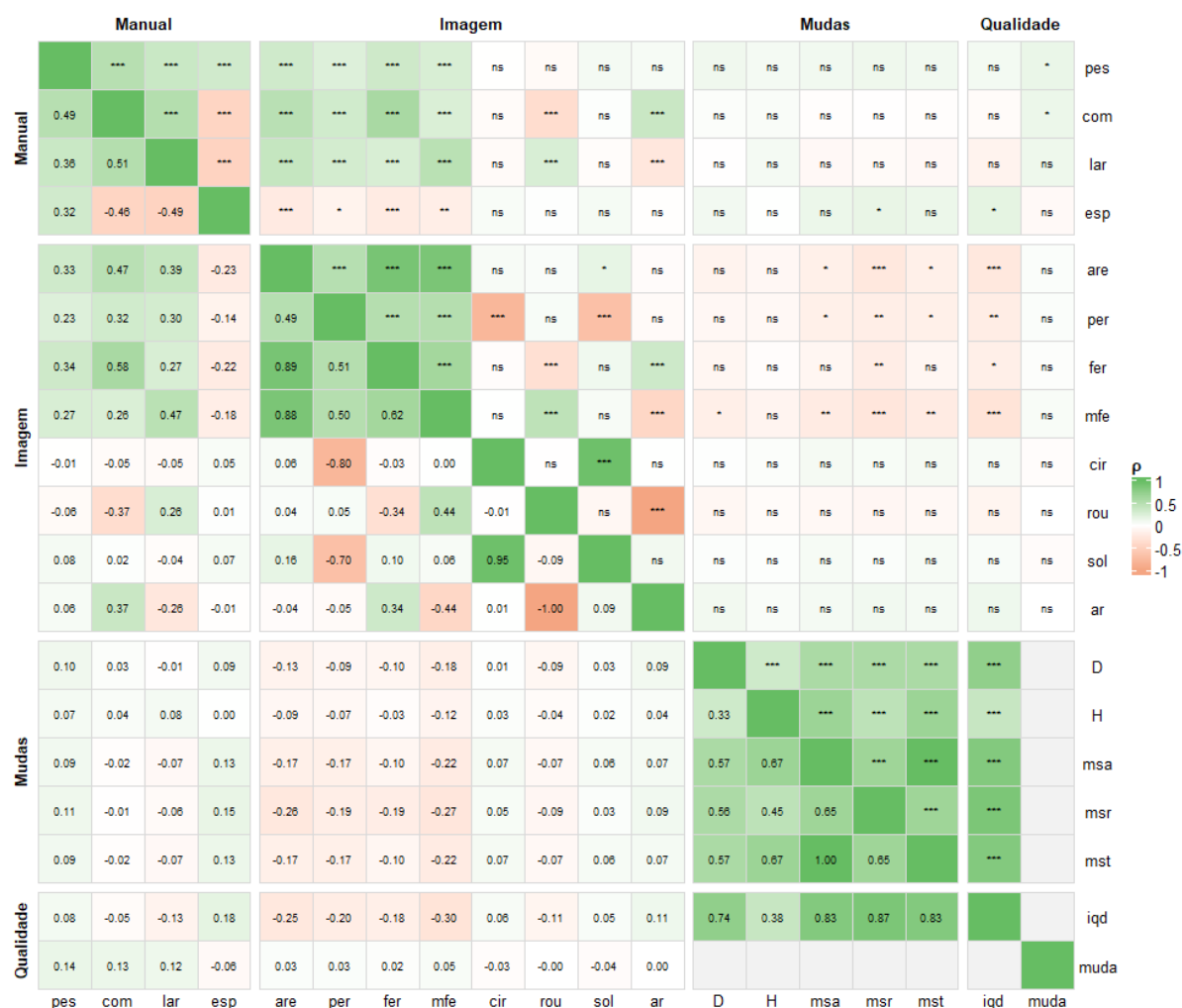


Figura 6. Matriz de correlação de Spearman entre variáveis biométricas, descritores morfológicos, características das mudas, Índice de Qualidade de Dickson (IQD) e formação de mudas aos 180 dias após a semeadura de jatobá. Os valores representam os coeficientes de correlação, enquanto os asteriscos indicam associações estatisticamente significativas (* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$) e ns indica ausência de significância ($p \geq 0,05$).

As curvas de reflectância das sementes que formaram (S) e das que não formaram (N) mudas aos 180 dias após a semeadura apresentaram comportamento espectral semelhante ao longo da faixa de 350 a 2200 nm. Em ambos os grupos foi observado o mesmo padrão geral da assinatura espectral, com reduzida separação entre as curvas médias de reflectância, indicando elevada similaridade entre os espectros das sementes avaliadas (Figura 7).

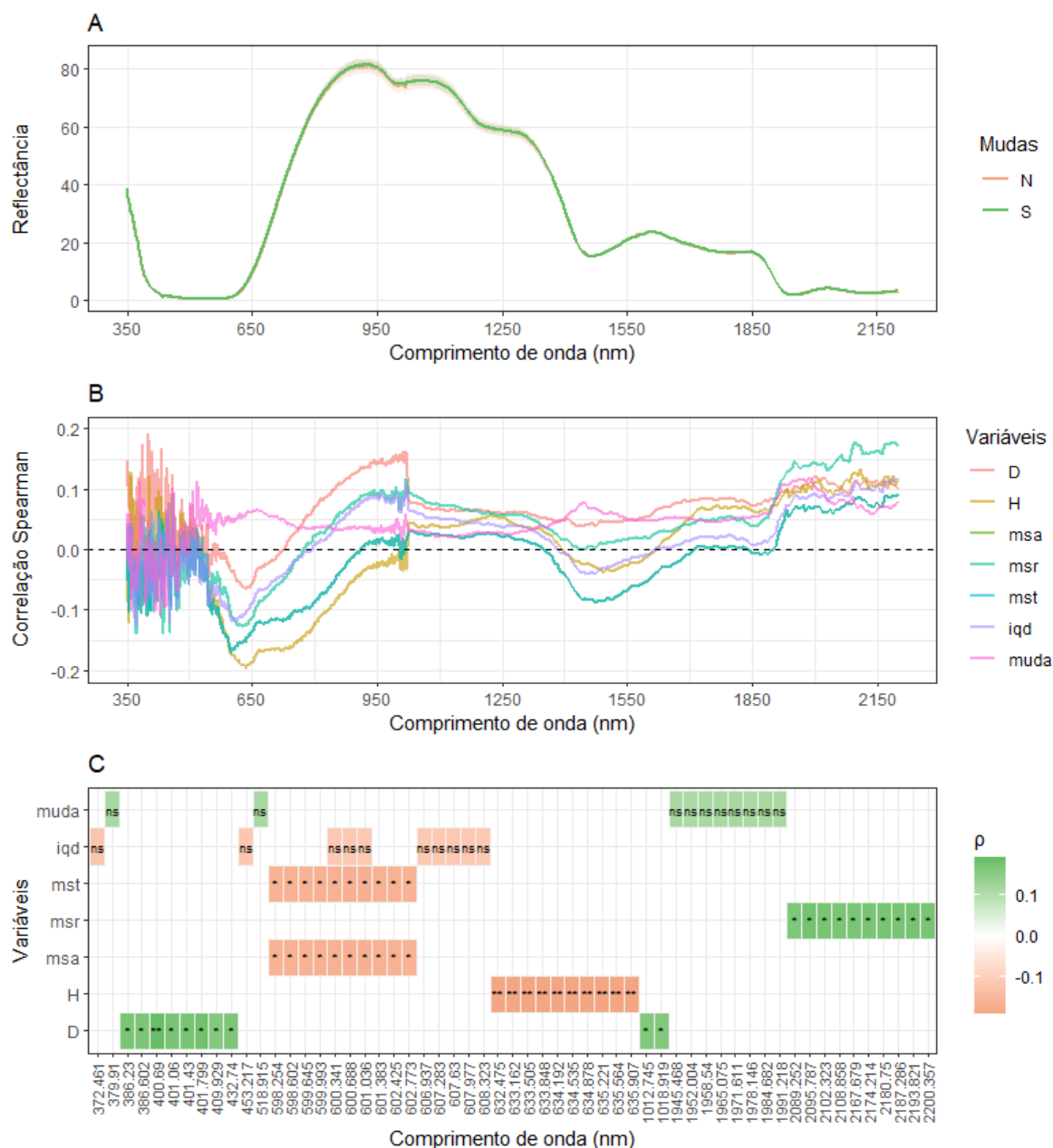


Figura 7. (A) Assinatura espectral média das sementes de *Hymenaea courbaril* que formaram (S) e não formaram (N) mudas aos 180 dias após a semeadura. (B) Correlação de Spearman entre a reflectância espectral e as variáveis das mudas ao longo dos comprimentos de onda avaliados. (C) Distribuição das dez maiores correlações estatisticamente significativas entre a reflectância espectral e as variáveis das mudas. D: diâmetro do colo; H: altura da parte aérea; MSA: massa seca da parte aérea; MSR: massa seca da raiz; MST: massa seca total; IQD: Índice de Qualidade de Dickson; muda: formação de muda.

A correlação entre a reflectância espectral e as variáveis das mudas apresentou, de modo geral, baixa magnitude, com coeficientes variando aproximadamente entre -0,20 e 0,20, indicando que, nas condições deste estudo, a resposta espectral isoladamente apresentou limitada capacidade para explicar a variação das características avaliadas nas mudas. Entretanto, algumas regiões específicas do espectro apresentaram correlações estatisticamente significativas com determinadas variáveis. As maiores correlações positivas foram observadas para a massa seca de raízes (MSR), principalmente entre 2100 e 2200 nm, enquanto a massa seca da parte aérea (MSA) e a massa seca total (MST) apresentaram correlações negativas em comprimentos de onda próximos de 600 nm. A formação de mudas aos 180 dias apresentou poucas correlações significativas e não foram observadas associações significativas entre a reflectância espectral e o Índice de Qualidade de Dickson (IQD). Embora de baixa magnitude, esses resultados indicam que determinadas faixas espectrais podem estar associadas a atributos específicos das mudas, fornecendo informações que poderão ser exploradas em estudos futuros por meio de abordagens multivariadas, seleção de bandas espectrais e modelos preditivos (Figura 7).

3.2 Influência das características das sementes na formação de mudas

Após as análises exploratórias, foi avaliada a influência das variáveis obtidas por biometria manual, análise digital de imagens e espectrorradiometria sobre a formação de mudas aos 180 dias após a semeadura. Para isso, foram ajustados modelos de regressão logística univariados para todas as variáveis analisadas. Entre as 20 variáveis de melhor desempenho, apenas a massa da semente ($\beta = 0,4678$; $p = 0,0400$; OR = 1,5964) e a largura ($\beta = 0,2400$; $p = 0,0309$; OR = 1,2713) apresentaram efeito significativo sobre a probabilidade de formação de mudas, enquanto as demais variáveis não apresentaram associação estatisticamente significativa (Figura 8, variável identificada como "Peso").

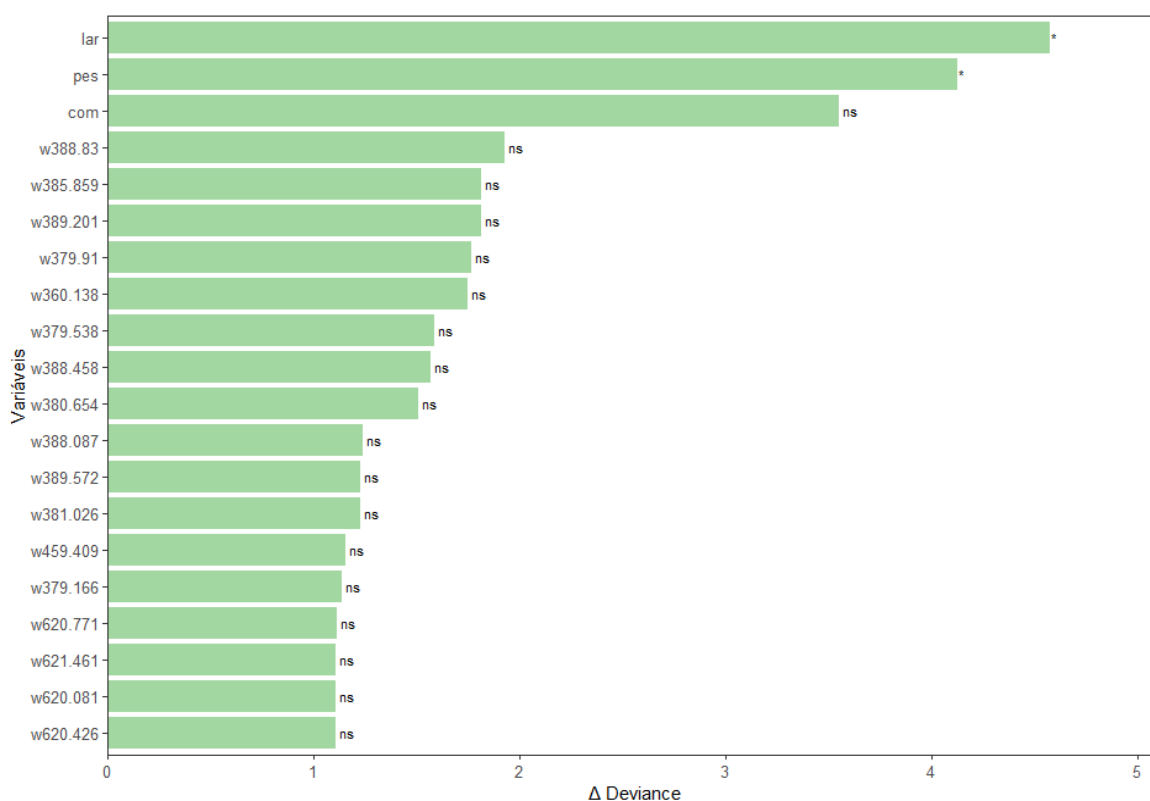


Figura 8. As 20 variáveis de melhor desempenho nos modelos logísticos univariados, classificadas de acordo com a redução da deviance (Δ Deviance) em relação ao modelo nulo. As variáveis apresentadas correspondem a características biométricas e espectrais das sementes. Os símbolos indicam a significância do teste da razão de verossimilhanças (Likelihood Ratio Test – LRT), sendo: ns = $p \geq 0,05$; * = $p < 0,05$.

A massa das sementes apresentou efeito positivo sobre a formação de mudas, aumentando em aproximadamente 59,6% a chance de formação de mudas para cada unidade adicional da variável (OR = 1,60; IC95%: 1,02–2,50; $p = 0,040$). Da mesma forma, a largura das sementes também apresentou efeito positivo, elevando em aproximadamente 27,1% a chance de formação de mudas para cada incremento unitário (OR = 1,27; IC95%: 1,02–1,58; $p = 0,039$) (Figura 8).

3.3 Influência das características das sementes na qualidade das mudas

O Índice de Qualidade de Dickson (IQD) foi utilizado como variável resposta para avaliar a influência das características das sementes sobre a qualidade das mudas. Para isso, foram ajustados modelos de regressão linear univariados para todas as variáveis obtidas por biometria manual, análise digital de imagens e

espectrorradiometria. Entre as 20 variáveis de maior desempenho, sete apresentaram associação significativa com o IQD. A espessura ($\beta = 0,0206$; $p = 0,0400$; $R^2 = 0,0221$) e a razão de aspecto (*Aspect Ratio*) ($\beta = 0,3538$; $p = 0,0344$; $R^2 = 0,0234$) apresentaram associação positiva com o IQD, enquanto a área ($\beta = -0,9562$; $p = 0,0003$; $R^2 = 0,0682$), o perímetro ($\beta = -0,0815$; $p = 0,0100$; $R^2 = 0,0345$), o diâmetro de Feret ($\beta = -0,6372$; $p = 0,0085$; $R^2 = 0,0361$), o diâmetro mínimo de Feret ($\beta = -1,2619$; $p < 0,001$; $R^2 = 0,0925$) e o arredondamento ($\beta = -0,6027$; $p = 0,0352$; $R^2 = 0,0233$) apresentaram associação negativa com o IQD (Figura 9).

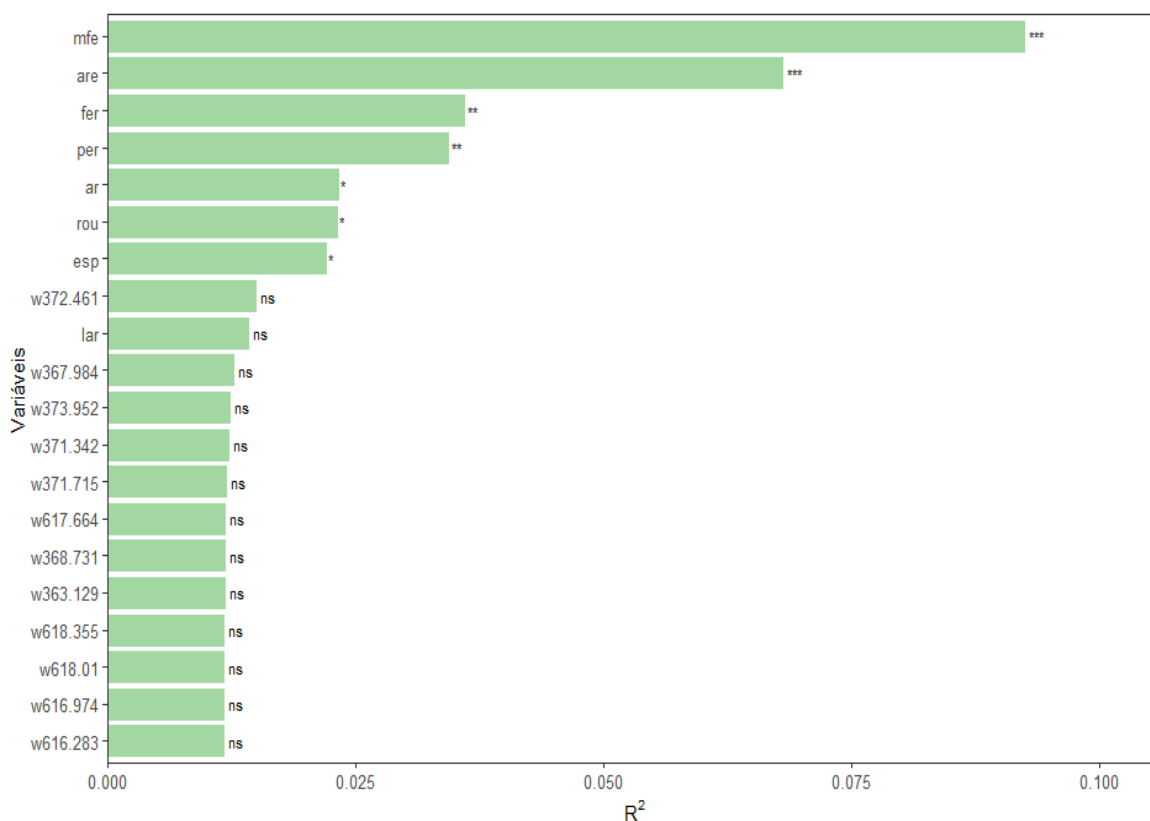


Figura 9. As 20 variáveis de melhor desempenho na explicação do Índice de Qualidade de Dickson (IQD), classificadas de acordo com o coeficiente de determinação (R^2) obtido em modelos de regressão linear univariados. As variáveis apresentadas correspondem a características biométricas, morfológicas e espectrais das sementes. Os símbolos indicam a significância do teste F da regressão (ns = $p \geq 0,05$; * = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$).

Entre as variáveis significativamente associadas ao IQD, o diâmetro mínimo de Feret apresentou o maior coeficiente de determinação ($R^2 = 0,0925$), seguido pela área ($R^2 = 0,0682$). De modo geral, os descritores morfológicos obtidos por análise

digital de imagens concentraram a maior parte das associações significativas com o IQD, enquanto a espessura, obtida por biometria manual, também apresentou associação positiva com a qualidade das mudas.

Embora os modelos de regressão linear tenham identificado variáveis significativamente associadas ao IQD, relações não lineares também poderiam estar presentes entre as características das sementes e a qualidade das mudas. Dessa forma, foram ajustados modelos aditivos generalizados (Generalized Additive Models – GAM) univariados para investigar esses possíveis padrões (Figura 10).

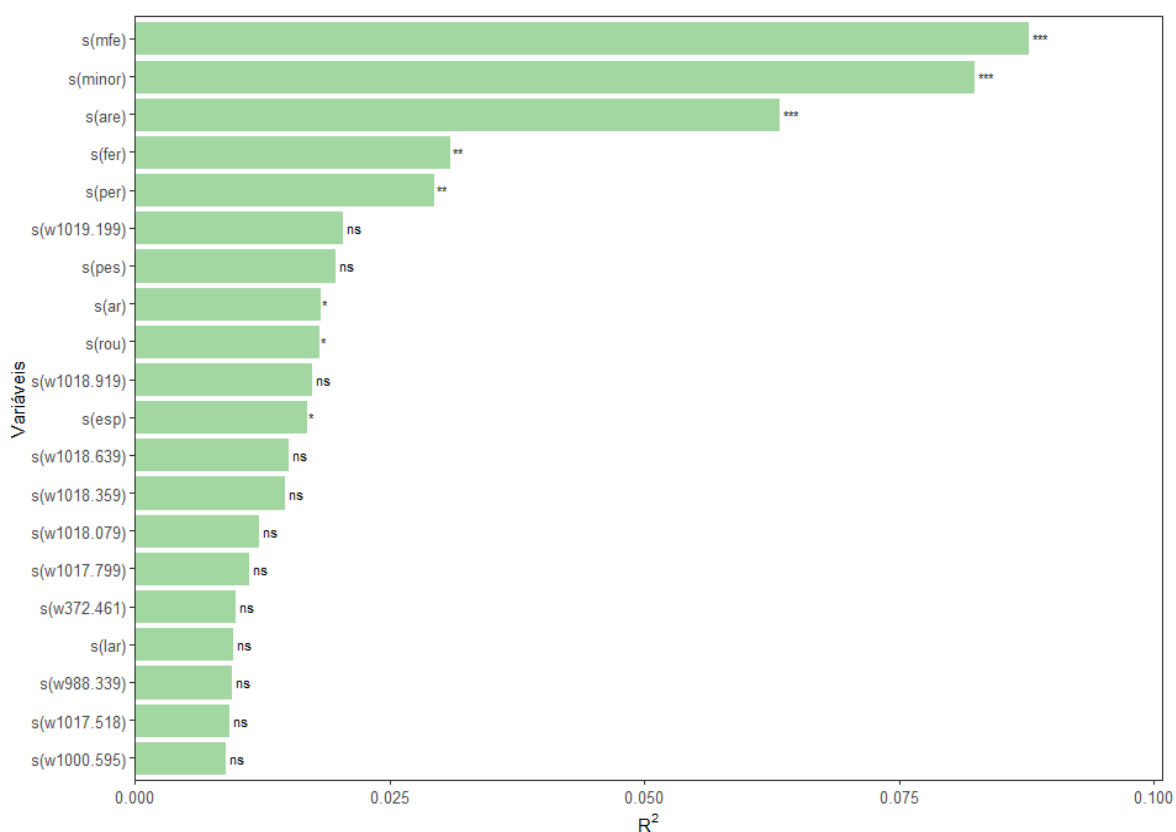


Figura 10. As 20 variáveis de melhor desempenho na explicação do Índice de Qualidade de Dickson (IQD), classificadas de acordo com o coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}) obtido em modelos aditivos generalizados (GAM) univariados. As variáveis identificadas por s() representam os termos suavizados das variáveis biométricas, morfológicas e espectrais. Os símbolos indicam a significância do teste F dos termos suavizados (ns = $p \geq 0,05$; * = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$).

Entre as 20 variáveis de maior desempenho nos modelos aditivos generalizados, oito apresentaram associação significativa com o IQD. O diâmetro mínimo de Feret apresentou o maior coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{aj} = 0,0877$), seguido pelo diâmetro mínimo (*Minor*) ($R^2_{aj} = 0,0824$), área ($R^2_{aj} = 0,0633$), diâmetro de Feret ($R^2_{aj} = 0,0310$), perímetro ($R^2_{aj} = 0,0294$), razão de aspecto (*Aspect Ratio*) ($R^2_{aj} = 0,0183$), arredondamento ($R^2_{aj} = 0,0181$) e espessura ($R^2_{aj} = 0,0169$). Para todas as variáveis significativas, os valores do grau efetivo de liberdade (*effective degrees of freedom – edf*) permaneceram próximos de 1, indicando predominância de relações aproximadamente lineares entre as características das sementes e o Índice de Qualidade de Dickson (Figura 10).

4. DISCUSSÃO

4.1 Influência da massa e da largura das sementes na formação de mudas

Neste estudo, apenas a massa e a largura das sementes apresentaram associação significativa com a formação de mudas aos 180 dias após a semeadura em viveiro. Esse resultado indica que sementes com maior desenvolvimento físico apresentam maior probabilidade de originar plântulas com maior capacidade de estabelecimento e desenvolvimento inicial, aumentando a chance de formação de mudas de melhor qualidade. Esse comportamento pode ser explicado pela maior disponibilidade de reservas acumuladas durante a formação das sementes.

Em espécies florestais, essas reservas desempenham papel fundamental no crescimento inicial das plântulas (Bewley et al., 2013; Marcos-Filho, 2015), fornecendo energia e carbono para o crescimento celular, o desenvolvimento do sistema radicular e a manutenção do metabolismo até que a atividade fotossintética se torne suficiente para sustentar o desenvolvimento da planta.

Nas sementes de jatobá, os cotilédones constituem importantes órgãos de reserva, armazenando predominantemente xiloglucanos, hemiceluloses ricas em carboidratos que atuam como reserva de carbono. Durante a germinação, esses polissacarídeos são mobilizados, fornecendo substratos para o crescimento inicial da plântula e contribuindo para seu estabelecimento (Santos et al., 2004).

A associação observada entre a massa e a largura das sementes e a formação de mudas também pode ser interpretada sob a perspectiva ecológica. Sementes com maior disponibilidade de reservas tendem a sustentar o desenvolvimento inicial por um período mais prolongado, favorecendo a sobrevivência das plântulas durante as fases iniciais de crescimento (Moles; Westoby, 2004). Essa característica pode aumentar a capacidade de estabelecimento, especialmente em espécies arbóreas nativas submetidas às variações ambientais típicas dos ambientes naturais (Poorter; Rose, 2005). Nesse contexto, os resultados obtidos reforçam que atributos biométricos simples podem auxiliar na identificação de sementes com maior potencial de estabelecimento, constituindo ferramentas úteis para a seleção de lotes e corroborando a importância da caracterização biométrica na produção de mudas de jatobá (Maia et al., 2025).

Do ponto de vista prático, os resultados demonstram que a massa e a largura podem ser empregadas como critérios auxiliares na seleção de lotes destinados à produção de mudas. Por serem características de rápida obtenção, fácil mensuração e baixo custo, sua utilização pode contribuir para aumentar a eficiência da classificação das sementes antes da semeadura, favorecendo a seleção de lotes com maior potencial para formação de mudas. Essa abordagem pode beneficiar viveiros florestais, programas de restauração ecológica, iniciativas de conservação de espécies nativas e a produção comercial de mudas, tornando a seleção inicial das sementes mais eficiente. Entretanto, essas características devem ser interpretadas como ferramentas complementares, uma vez que o desempenho das mudas também depende da interação entre fatores genéticos, fisiológicos, ambientais e das práticas de manejo adotadas durante sua produção (Marcos-Filho, 2015; Maia et al., 2025).

4.2 Descritores morfológicos obtidos por análise digital de imagens e qualidade das mudas

Os descritores morfológicos obtidos por análise digital de imagens destacaram-se entre as variáveis com maior poder explicativo para o Índice de Qualidade de Dickson (IQD). Esse resultado sugere que a caracterização integrada da morfologia das sementes fornece informações mais representativas sobre características associadas à qualidade das mudas do que a avaliação baseada exclusivamente em medidas biométricas lineares. Enquanto a biometria convencional descreve atributos

individuais, como comprimento, largura e espessura, a análise digital permite quantificar simultaneamente características relacionadas ao tamanho, à forma e à geometria das sementes, incluindo área, perímetro, diâmetros de Feret, circularidade, arredondamento, razão de aspecto e solidez (Cervantes et al., 2016). Dessa forma, essa abordagem amplia a capacidade de caracterização morfológica das sementes, permitindo identificar variações que dificilmente seriam representadas apenas por mensurações convencionais (Silva et al., 2020).

A predominância de descritores relacionados ao tamanho e à geometria das sementes entre as variáveis com maior poder explicativo do IQD sugere que a conformação morfológica reflete, de forma integrada, aspectos do desenvolvimento das sementes que não são completamente descritos por medidas lineares isoladas. Durante a formação das sementes, processos como crescimento dos tecidos e acúmulo de reservas determinam simultaneamente suas dimensões e sua conformação externa, fazendo com que descritores derivados da análise digital integrem diferentes informações morfológicas em uma única variável (Bewley et al., 2013; Marcos-Filho, 2015).

No presente estudo, descritores relacionados ao tamanho e à geometria, como área, perímetro e os diâmetros de Feret, estiveram entre aqueles com maior capacidade de explicar a variação do IQD, indicando que a avaliação integrada da morfologia pode representar uma estratégia complementar para identificar sementes com maior potencial de formar mudas de melhor qualidade. Esse resultado está de acordo com estudos que demonstram que a análise digital amplia a capacidade de caracterização de sementes e favorece a obtenção de descritores morfológicos associados ao desempenho fisiológico (Cervantes et al., 2016; Silva et al., 2020).

Os resultados obtidos também evidenciam o potencial da análise digital de imagens como ferramenta complementar para a caracterização morfológica de sementes. A extração automatizada de descritores quantitativos relacionados ao tamanho e à geometria amplia a quantidade de informações obtidas a partir de cada semente e proporciona maior padronização das avaliações morfológicas, reduzindo a dependência exclusiva de mensurações lineares convencionais (Cervantes et al., 2016; Rueden et al., 2017). Dessa forma, a análise digital apresenta potencial para complementar métodos tradicionais de caracterização de sementes, contribuindo para estudos sobre qualidade fisiológica, produção de mudas, conservação de

espécies nativas e restauração ecológica, especialmente quando utilizada de forma integrada a outras técnicas de avaliação (Silva et al., 2020).

4.3 Variáveis espectrais e sua associação com a qualidade das mudas

A avaliação da assinatura espectral das sementes identificou associações significativas entre regiões específicas do espectro eletromagnético e características relacionadas ao desenvolvimento das mudas. Entretanto, essas associações concentraram-se em um número reduzido de comprimentos de onda e apresentaram, em sua maioria, baixa magnitude, indicando que a resposta espectral apresentou capacidade limitada para explicar a variação das características avaliadas nas condições deste estudo.

As associações significativas concentraram-se em regiões específicas do espectro. Bandas entre aproximadamente 386 e 410 nm apresentaram associação positiva com o diâmetro do colo, enquanto comprimentos de onda entre 598 e 603 nm e entre 632 e 636 nm estiveram associados, respectivamente, às massas secas e à altura das mudas. Além disso, bandas próximas de 1015 nm, entre 1952 e 1984 nm e entre 2005 e 2200 nm apresentaram associação com o diâmetro do colo, formação de mudas e massa seca da raiz. A ocorrência dessas associações em intervalos contínuos de comprimentos de onda sugere que elas representam padrões consistentes da resposta espectral das sementes, e não associações ocasionais em comprimentos de onda isolados.

A concentração das associações em regiões específicas do espectro está de acordo com o princípio da espectroscopia, segundo o qual diferentes comprimentos de onda interagem de maneira distinta com os constituintes físicos e químicos das sementes, tornando determinadas faixas espectrais mais sensíveis às variações em sua composição (Feng et al., 2019). Dessa forma, pequenas alterações na composição e na organização dos tecidos podem resultar em mudanças localizadas na reflectância, justificando a ocorrência de associações em bandas específicas do espectro.

Embora tenham sido identificadas associações significativas em regiões específicas, as correlações observadas foram predominantemente de baixa magnitude, indicando que as variáveis espectrais apresentaram menor capacidade explicativa quando comparadas aos descritores morfológicos obtidos por análise

digital de imagens. Esses resultados sugerem que, nas condições deste estudo, a espectroscopia apresenta potencial como ferramenta complementar para a caracterização de sementes, mas sua utilização isolada possui capacidade limitada para prever a qualidade das mudas.

A utilização conjunta de variáveis biométricas, descritores morfológicos obtidos por análise digital de imagens e variáveis espectrais proporcionou uma caracterização mais abrangente das sementes de jatobá. Entretanto, os resultados indicam que os descritores morfológicos apresentaram maior capacidade explicativa para a qualidade das mudas, enquanto as variáveis espectrais contribuíram de forma mais pontual. Resultado semelhante foi relatado por Oliveira et al. (2024), que destacam o potencial da espectroscopia para a avaliação da qualidade de sementes. Assim, a espectroscopia representa uma ferramenta promissora para complementar a caracterização de sementes, especialmente quando integrada a outras técnicas de avaliação e a abordagens analíticas capazes de explorar de forma mais abrangente as informações contidas na assinatura espectral.

4.4 Síntese dos resultados e perspectivas futuras

De forma geral, os resultados deste estudo demonstram que diferentes conjuntos de variáveis obtidas das sementes contribuíram, em diferentes níveis, para compreender sua relação com a formação e a qualidade de mudas de jatobá. Enquanto as características biométricas apresentaram associação com a formação de mudas, os descritores morfológicos obtidos por análise digital de imagens apresentaram maior capacidade de explicar a qualidade das mudas. As variáveis espectrais, por sua vez, apresentaram associações significativas em regiões específicas do espectro eletromagnético, porém com menor capacidade explicativa quando comparadas aos descritores morfológicos, indicando seu potencial como ferramenta complementar na caracterização das sementes. Em conjunto, esses resultados demonstram que a integração de diferentes abordagens permite uma avaliação mais abrangente das características das sementes e de sua relação com o desenvolvimento inicial das mudas.

Os resultados obtidos também fornecem uma base para o desenvolvimento de estudos futuros voltados à integração de informações biométricas, morfológicas e espectrais em abordagens multivariadas, ampliando as possibilidades de predição da

qualidade de sementes e mudas. Além de aprofundar a compreensão das relações entre as características das sementes e o desenvolvimento das plantas, estudos futuros poderão incorporar maior número de lotes, diferentes condições fisiológicas das sementes e métodos estatísticos e quimiométricos mais robustos, contribuindo para o aperfeiçoamento de metodologias aplicadas à produção de mudas de espécies florestais nativas, bem como a programas de conservação e restauração ecológica.

5. CONCLUSÕES

Este estudo demonstrou que características biométricas, descritores morfológicos obtidos por análise digital de imagens e variáveis espectrais de sementes de contribuíram, em diferentes níveis, para compreender a relação entre as características das sementes e a formação e qualidade das mudas. As características biométricas apresentaram associação com a formação de mudas, enquanto os descritores morfológicos obtidos por análise digital de imagens apresentaram maior capacidade de explicar a qualidade das mudas. As variáveis espectrais apresentaram associações significativas em regiões específicas do espectro eletromagnético, porém com menor capacidade explicativa quando comparadas aos descritores morfológicos, indicando seu potencial como ferramenta complementar para a caracterização das sementes.

Os resultados evidenciam que a análise digital de imagens constitui uma abordagem promissora para a caracterização morfológica de sementes, permitindo identificar descritores com maior capacidade de explicar a qualidade das mudas de jatobá. A integração entre biometria, análise digital de imagens e espectroscopia amplia a caracterização das sementes, podendo contribuir para estudos voltados à produção de mudas de espécies florestais nativas.

6. REFERÊNCIAS

- BEWLEY, J. Derek; BRADFORD, Kent J.; HILHORST, Henk W. M.; NONOGAKI, Hiro. **Seeds: physiology of development, germination and dormancy**. 3. ed. New York: Springer, 2013. 392 p. DOI: 10.1007/978-1-4614-4693-4.
- CERVANTES, E.; MARTÍN, J. J.; CHAMORRO, S.; TOCCI, A.; ARDANUY, R.; DE DIEGO, J. G.; SAURA, D. Seed morphology in key Spanish Brassica species studied by image analysis. **Seed Science and Technology**, Zürich, v. 44, n. 2, p. 1–13, 2016.

COELHO GONÇALVES, Cicera Alane; SOUZA, Geane Gabriele de Oliveira; FERNANDES DUARTE, Ana Maria; NASCIMENTO, Joice Barbosa do; GALVÃO RODRIGUES, Fázia Fernandes; MARTINS DA COSTA, José Galberto; GALVÃO RODRIGUES, Fabíola Fernandes. Chemical and Biological Properties of *Hymenaea courbaril* L.: A Review. **Chemistry & Biodiversity**, v. 23, n. 2, e03154, 2026.

DE MEDEIROS, A. D.; CAPOBIANGO, N. P.; SILVA, J. M.; et al. Interactive machine learning for soybean seed and seedling quality classification. **Scientific Reports**, v. 10, 11267, 2020.

ELMASRY, Gamal; MANDOUR, Nasser; AL-REJAIE, Salim; BELIN, Etienne; ROUSSEAU, David. Recent applications of multispectral imaging in seed phenotyping and quality monitoring: an overview. **Sensors**, Basel, v. 19, n. 5, art. 1090, 2019.

FELIX, Francival Cardoso; KRATZ, Dagma; RIBEIRO, Richardson; NOGUEIRA, Antonio Carlos. Caracterização e diferenciação de espécies florestais por meio da análise de imagens de sementes: uma nova abordagem metodológica. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 33, n. 3, e73427, 2023.

FENG, Lei; ZHU, Susu; LIU, Fei; HE, Yong; BAO, Yidan; ZHANG, Chu. Hyperspectral imaging for seed quality and safety inspection: a review. **Plant Methods**, v. 15, art. 91, 2019. DOI: 10.1186/s13007-019-0476-y.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Portal do INMET**. Brasília, DF, 2025. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>. Acesso em: 22 jul. 2026.

JUNGES, E.; MUNIZ, M. F.; MEZZOMO, R.; BASTOS, B.; MACHADO, R. T. Trichoderma spp. na produção de mudas de espécies florestais. **Floresta e Ambiente**, v. 23, n. 2, p. 237–244, 2016.

MAIA, Hudson Eduardo Moreira et al. Aspectos técnicos da produção de mudas de *Hymenaea courbaril* L.: síntese sobre biometria, viabilidade, dormência e substratos. **Nativa**, v. 13, n. 2, p. 216–225, 2025.

MANOJ, C.; SHARMA, L.; UMA, G. S. Assessment of Seed Quality with Near Infrared Spectroscopy in Forestry/Agroforestry Sector – A Review. **Indian Forester**, v. 150, n. 1, p. 34–39, 2024.

MARCOS-FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. 2. ed. Londrina: ABRATES, 2015. 659 p. ISBN: 978-85-64895-03-4.

MOJENA, Pastor Amador; BARRETO, Marliton Rocha. Danos em frutos e sementes de *Hymenaea courbaril* L. por *Rhinochenus stigma* (Linneu 1764). **Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**, v. 25, n. 1, p. 62–65, 2021.

MOLES, A. T.; WESTOBY, M. Seedling survival and seed size: a synthesis of the literature. **Journal of Ecology**, v. 92, n. 3, p. 372–383, 2004.

MORTENSEN, A. K.; GISLUM, R.; JØRGENSEN, J. R.; BOELT, B. The Use of Multispectral Imaging and Single Seed and Bulk Near-Infrared Spectroscopy to

Characterize Seed Covering Structures: Methods and Applications in Seed Testing and Research. **Agriculture**, v. 11, n. 4, p. 301, 2021.

OLIVEIRA, R. A. et al. Hyperspectral imaging and machine learning for non-destructive assessment of seed physiological quality. **AgriEngineering**, v. 6, n. 4, 2024.

POORTER, L.; ROSE, S. A. Light-dependent changes in the relationship between seed mass and seedling traits: a meta-analysis for rain forest species. **The American Naturalist**, v. 166, n. 5, p. E126–E139, 2005.

R CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2024.

RAHMAN, A.; CHO, Y. H. Assessment of Machine Learning Algorithms for Classification of Agricultural Data. **Computers**, v. 5, n. 4, 2016.

REDDY, M. M.; BHANDARI, R.; PRASAD, P. V. V.; et al. Near-Infrared Hyperspectral Imaging Pipelines for Pasture Seed Quality Evaluation: An Overview. **Sensors**, v. 22, n. 5, art. 1983, 2022.

RUEDEN, C. T. et al. ImageJ2: ImageJ for the next generation of scientific image data. **BMC Bioinformatics**, v. 18, 2017.

SCHNEIDER, C. A.; RASBAND, W. S.; ELICEIRI, K. W. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. **Nature Methods**, v. 9, n. 7, p. 671–675, 2012.

SANTOS, H. P.; PIMENTEL, S. M.; BUCKERIDGE, M. S. The Role of the Storage Carbon of Cotyledons in the Establishment of Seedlings of *Hymenaea courbaril*. **Annals of Botany**, v. 94, n. 6, p. 819–830, 2004.

SILVA, V. N. et al. Seed quality analysis of *Senna siamea* using image analysis techniques. **Journal of Seed Science**, v. 42, 2020.

WOOD, S. N. **Generalized Additive Models: An Introduction with R**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2017.