



**NANOFERTILIZANTE NA PRODUÇÃO DE MUDAS CLONAIIS E
SEMINAIS DE ESPÉCIES COMERCIAIS**

DIONE DAMBRÓS RADDATZ

**TESE DE DOUTORADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA-UnB**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

DIONE DAMBRÓS RADDATZ

**NANOFERTILIZANTE NA PRODUÇÃO DE MUDAS CLONAIIS E
SEMINAIS DE ESPÉCIES COMERCIAIS**

ORIENTADOR: Dr. ANDERSON MARCOS DE SOUZA

BRASÍLIA, DF, MARÇO DE 2024

©2024

Todos os direitos autorais reservados a Dione Dambrós Raddatz. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.
E-mail: dionedambros@hotmail.com

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

**NANOFERTILIZANTE NA PRODUÇÃO DE MUDAS CLONAIS E
SEMINAIS DE ESPÉCIES COMERCIAIS**

DIONE DAMBRÓS RADDATZ

TESE DE DOUTORADO SUBMETIDO AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM CIÊNCIAS FLORESTAIS.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Anderson Marcos de Souza (Departamento de Engenharia Florestal – EFL/UnB) - (Orientador)

Prof^a. Dr^a. Juscelina Arcanjo dos Santos (Departamento de Engenharia Florestal - EFL/UnB) – (Examinador Interno)

Prof^a. Dr^a. Andrea Vita Reis Mendonça (Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB) - (Examinadora Externa à UnB)

Prof. Dr. Marco Bruno Xavier Valadão (Universidade Federal do Acre – UFAC) – (Examinador Externo à UnB)

Dr. Jonas Inkotte – Suplente Externo

BRASÍLIA/DF, MARÇO DE 2024

*À minha família: Esposa Rossana, pais Hélio e Cleusa, irmã Danielle, sobrinha Lívia
dedico esse trabalho.*

AGRADECIMENTOS

À minha esposa Rossana, pelo amor, incentivos, carinho, estando ao meu lado nos momentos bons e ruins, ajudando a superar os obstáculos e pela ajuda incondicional ao trabalho realizado.

Aos meus pais Hélio e Cleusa, responsáveis por toda minha formação como pessoa, agradeço o amor, carinho e confiança depositada em minhas escolhas.

À minha irmã Danielle, sobrinha e afiliada Livia e cunhado Victor, pela amizade, carinho, compreensão e incentivos.

Ao meu sogro Niwton, sogra Vera, cunhado Guilherme e concunhada Scheila, pela amizade, carinho e incentivos.

Ao Professor Dr. Anderson Marcos de Souza, pela orientação, conselhos, ideias, ensinamentos e suporte durante a pesquisa.

À CAPES, pela bolsa de estudos, tornando viável a elaboração da pesquisa e a Universidade de Brasília (UnB), pelos anos de acolhida e por todas as oportunidades apresentadas.

Ao Professor Dr. Leonardo Job Biali pelos ensinamentos, companheirismo e acolhida, não tenho palavras para agradecer.

Aos colegas de pós-graduação. Em especial aos amigos Mario Lima dos Santos e Peter Wimmer pelos conselhos repassados.

Muito obrigado!

RESUMO

NANOFERTILIZANTE NA PRODUÇÃO DE MUDAS CLONAIS E SEMINAIS DE ESPÉCIES COMERCIAIS

AUTOR: Dione Dambrós Raddatz
ORIENTADOR: Anderson Marcos de Souza

Atualmente há uma demanda constante por tecnologias que abrangem a redução de custos de produção e tempo necessário para formação das mudas florestais de qualidade, isso tem levado pesquisadores a desenvolverem novas alternativas de produtos. Dentre estas, estão inseridos os nanofertilizantes, que em cultivos agrônomicos demonstram superioridade nos aspectos morfológicos, fisiológicos, nutricionais entre outros. No setor florestal, especialmente em espécies arbóreas com interesse econômico, estudos com nanofertilizantes são incipientes. Assim, o objetivo deste trabalho foi testar os efeitos do nanofertilizante Arbolin Biogeneses, através de adubação de cobertura, juntamente com adubação convencional utilizada em viveiros e ureia de maneira convencional. Com isso, foram instalados quatro experimentos. No experimento 1 foram avaliados os efeitos de diferentes doses de nanofertilizante (0; 0,5; 1,0; 1,5 e 2 ml de nanofertilizante e adubação padrão do viveiro) na produção clonal de eucalipto em tubetes de 55cm³. No experimento 2 (bambu), 3 (erva-mate) e 4 (espécie nativa do Cerrado) foram avaliados os efeitos de doses do nanofertilizante arbolina e ureia através da adubação de cobertura. As concentrações foram 2, 4, 6 e 8ml de arbolina e 2, 4, 6 e 8 g/litro de ureia, sendo aplicado 30ml desta solução por muda para a produção. Os experimentos foram avaliados os atributos morfológicos, nutricionais e a lixiviação dos nutrientes nitrogênio (N) e Carbono (C). Os dados preliminares foram submetidos diferentes análises: descritiva (média e desvio padrão); testes de normalidade (Shapiro-Wilk), e homogeneidade (Bartlett). Análise de variância da regressão polinomial ($\alpha=0,05$). Médias com significância foram submetidas ao teste de Scott & Knott. De forma complementar, as doses de nanofertilizante e ureia foram agrupadas, por meio da análise de variáveis canônicas e correlação de Pearson $|r_{ij}|$ através de Heatmap's (mapas de calor). De maneira geral, as alterações ocasionadas pela adubação de cobertura promoveram melhoria da qualidade morfológica, em especial o enraizamento em eucalipto e os teores de macro e micronutrientes foliares para todas as espécies utilizadas. Para espécies em que houve a determinação da lixiviação se pode constatar a atenuação, principalmente de N. O uso do nanofertilizante permitiu a redução da adubação utilizada em viveiros, resultando em mudas de com vigor de crescimento e conteúdos nutricionais dentro das faixas consideradas ótimas. Doses elevadas de adubação trouxeram consigo demasiada lixiviação de nutrientes, principalmente em tratamentos com aplicação de ureia convencional. O nanofertilizante Arbolina demonstrou ser uma alternativa promissora para a melhoria da qualidade de mudas de espécies florestais nativas e exóticas de interesse comercial bem como nos bambus do gênero *Guadua*.

Palavras-chave: adubação, viveiro florestal, eucalipto, erva-mate, bambu, nativa.

ABSTRACT

NANOFERTILIZER IN THE PRODUCTION OF CLONAL AND SEMINAL SEEDLINGS OF COMMERCIAL SPECIES

AUTHOR: Dione Dambrós Raddatz
ADVISER: Anderson Marcos De Souza

Nowadays, there is a constant demand for technologies that reduce production costs and the time needed to produce quality forest seedlings, which has led researchers to develop new alternative products. These include nanofertilizers, which in agronomic crops have shown superiority in morphological, physiological, and nutritional aspects, among others. In the forestry sector, especially with tree species of economic interest, studies with nanofertilizers are in the infancy stage. The aim of this study was to test the effects of Arbolin Biogeneses nanofertilizer through top dressing, together with conventional fertilizer used in nurseries and conventional urea. Therefore, four experiments were set up. Experiment 1 evaluated the effects of different doses of nanofertilizer (0; 0.5; 1.0; 1.5 and 2 ml of nanofertilizer and standard nursery fertilizer) on *Eucalyptus* clone production in 55cm³ tubes. Experiments 2 (bamboo), 3 (yerba mate), and 4 (native Cerrado species) evaluated the effects of different doses of the nanofertilizer arboline and urea through top dressing. The concentrations were 2, 4, 6, and 8 ml of arboline and 2, 4, 6, and 8 g/liter of urea, with 30 ml of this solution being applied per seedling for production. The experiments evaluated the morphological and nutritional attributes and the leaching of the nutrients nitrogen (N) and carbon (C). The preliminary data were subjected to different analyses: descriptive (mean and standard deviation), normality (Shapiro-Wilk), and homogeneity (Bartlett) tests. Polynomial regression analysis of variance ($\alpha=0.05$). Means with significance were submitted to the Scoth & Knott test. In addition, the doses of nanofertilizer and urea were grouped using canonical variable analysis and Pearson's correlation $|r_{ij}|$ through heat maps (heat maps). In general, the changes brought about by top-dressing fertilization improved morphological quality, especially rooting in eucalyptus, and the levels of leaf macro- and micronutrients for all the species used. For species in which leaching was determined, attenuation could be observed, especially in N. The use of nanofertilizer made it possible to reduce the amount of fertilizer used in nurseries, resulting in seedlings with vigorous growth and nutritional contents within the ranges considered optimal. High doses of fertilizer resulted in excessive leaching of nutrients, especially in treatments with conventional urea. The Arbolina nanofertilizer proved to be a promising alternative for improving the quality of seedlings of native and exotic forest species of commercial interest, as well as bamboos of the *Guadua* genus.

Keywords: fertilization, greenhouse, eucalyptus, yerba mate, bamboo, native.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	19
2. OBJETIVOS	22
2.1 GERAL.....	22
2.2 ESPECÍFICOS	22
3. ESTRUTURA DA TESE	23
4. REFERENCIAL TEÓRICO	24
4.1 Espécies utilizadas na pesquisa.....	24
4.1.1 Eucalipto	24
4.1.2 Bambu	27
4.1.3 Erva-mate	30
4.1.4 Nativa	33
4.2 Práticas de manejo na produção de mudas em viveiro	34
4.3 Nanofertilizantes.....	35
4.4 Adubação no crescimento, estabelecimento e nutrição de mudas em viveiro	39
5. REFERÊNCIAS	42
CAPÍTULO 1	71
Respostas da aplicação de nanofertilizantes na rizogênese e no crescimento de mudas clonais de eucalipto em viveiro.	71
1. INTRODUÇÃO	71
2. MATERIAL E MÉTODOS	74
2.1 Local de implantação do experimento	74
2.2 Recipientes de produção de mudas e substrato	74
2.3 Coleta dos propágulos e preparo	74
2.4 Instalação do experimento	75
2.5 Análise dos resultados	76
<i>2.5.1 Avaliação das características morfológicas</i>	<i>76</i>
<i>2.5.2 Avaliação das características nutricionais</i>	<i>76</i>
2.6 Análise estatística	77
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	79
4. CONCLUSÕES	89
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	90
CAPÍTULO 2	95

Aclimatização <i>ex vitro</i> de mudas micropropagadas de bambu com a aplicação de nanofertilizante e ureia em adubação de cobertura em viveiro.....	95
1. INTRODUÇÃO.....	95
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	98
2.1 Local de implantação do experimento.....	98
2.2 Mudas, recipientes e substrato.....	98
2.3 A Instalação do experimento.....	99
2.4 Análise dos resultados.....	99
2.4.1 Avaliação das características morfológicas.....	99
2.4.2 Teores de macro e micronutrientes foliares.....	100
2.4.3 Lixiviação de nutrientes.....	100
2.5 Análise estatística.....	100
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	102
4. CONCLUSÕES.....	113
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	114
CAPÍTULO 3.....	119
Crescimento de mudas de <i>Ilex paraguariensis</i> à adubação de cobertura com nanofertilizante e urEia.....	119
1. INTRODUÇÃO.....	119
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	122
2.1 Local de implantação do experimento.....	122
2.2 Mudas, recipientes e substrato.....	122
2.3 Instalação do experimento.....	122
2.4 Análise dos resultados.....	123
2.4.1 Avaliação das características morfológicas.....	123
2.4.2 Teores de macro e micronutrientes foliares.....	124
2.4.3 Lixiviação de nutrientes.....	124
2.5 Análise estatística.....	124
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	126
4. CONCLUSÕES.....	142
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	143
CAPÍTULO 4.....	149
Padrões de qualidade de mudas de <i>Alibertia edulis</i> a. rich. ex dc. aplicação de nanopartículas de Carbono Orgânico (C org) e Nitrogênio (N) em adubação de cobertura em viveiro.....	149
1. INTRODUÇÃO.....	149

2. MATERIAL E MÉTODOS	153
2.1 Local de implantação e condução do experimento	153
2.2 Mudanças, recipientes e substrato	153
2.3 Instalação do experimento	153
2.3.1 Avaliação das características morfológicas	154
2.4.2 Teores de macro e micronutrientes foliares	154
2.4.3 Lixiviação de nutrientes	155
2.5 Análise estatística	155
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	157
4. CONCLUSÕES	174
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	175

Lista de figuras

- Figura 1.** Ilustração da aplicação de nanofertilizantes em diferentes partes da planta. Fonte: (SHARMA et al., 2020b).....37
- Figura 2.** Comportamento das variáveis morfológicas de mudas de eucalipto às diferentes doses de nanofertilizante. H = altura da parte aérea; D = diâmetro do coleto; NF = número de folhas MSA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca das raízes; NR = número de raízes; CMR = comprimento médio das raízes; DMR = diâmetro médio das raízes; MST= massa seca total; IQD = Índice de qualidade de Dickson. R^2 = coeficiente de determinação. p = p-valor da anova. Médias seguidas pela mesma letra não se diferenciam pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.....80
- Figura 3.** Representação gráfica da correlação de Pearson para variáveis morfológicas de eucalipto, com diferentes doses de nanofertilizante em adubação de cobertura. H = altura da parte aérea; D = diâmetro do coleto; NF = número de folhas MSA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca das raízes; CMR = comprimento médio das raízes; DMR = diâmetro médio das raízes; MST = massa seca total e IQD = índice de qualidade de Dickson. Nível de significância: * = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$ e *** = $p < 0,001$83
- Figura 4.** Representação gráfica das variáveis canônicas para variáveis morfológicas e de qualidade em mudas de erva-mate com aplicação de nanofertilizante. H = altura da parte aérea; D = diâmetro do coleto; NF = número de folhas MSA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca das raízes; CMR = comprimento médio das raízes; DMR = diâmetro médio das raízes; MST = massa seca total e IQD = índice de qualidade de Dickson.....84
- Figura 5.** Comportamento das variáveis morfológicas de mudas de *Guadua angustifolia* às diferentes doses de nanofertilizante. H = altura da parte aérea; Dtouceira = diâmetro da touceira; NF = número de folhas MSA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca das raízes; Dcolmos = diâmetros dos colmos; Ncolmos = número de colmos; MST= massa seca total; IQD = Índice de qualidade de Dickson. R^2 = coeficiente de determinação. p = p-valor da anova. Médias seguidas pela mesma letra não se diferenciam pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade..... 103

- Figura 6.** Comportamento das variáveis morfológicas de mudas de *Guadua angustifolia* às diferentes doses de ureia. H = altura da parte aérea; D touceira = diâmetro da touceira; NF = número de folhas MSA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca das raízes; Dcolmos = diâmetros dos colmos; Ncolmos = número de colmos; MST= massa seca total; IQD = Índice de qualidade de Dickson. R² = coeficiente de determinação. p = p-valor da anova. Médias seguidas pela mesma letra não se diferenciam pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. 105
- Figura 7.** Representação gráfica da correlação de Pearson para variáveis morfológicas de erva-mate, com diferentes doses de nanofertilizante em adubação de cobertura. H = altura da parte aérea; D = diâmetro do coleto; NF = número de folhas MSA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca das raízes; CMR = comprimento médio das raízes; DMR = diâmetro médio das raízes; MST = massa seca total e IQD = índice de qualidade de Dickson. Nível de significância: * = p < 0,05; ** = p < 0,01 e *** = p < 0,001.106
- Figura 8.** Representação gráfica da correlação de Pearson para variáveis morfológicas de erva-mate, com diferentes doses de ureia em adubação de cobertura. H = altura da parte aérea; D = diâmetro do coleto; NF = número de folhas MSA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca das raízes; CMR = comprimento médio das raízes; DMR = diâmetro médio das raízes; MST = massa seca total e IQD = índice de qualidade de Dickson. Nível de significância: * = p < 0,05; ** = p < 0,01 e *** = p < 0,001.107
- Figura 9.** Representação gráfica das variáveis canônicas para variáveis morfológicas (A) e de qualidade (B) em mudas de *Guadua angustifolia* com aplicação de nanofertilizante. H = altura da parte aérea; D touceira = diâmetro da touceira; NF = número de folhas MSA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca das raízes; Ncolmos = números de colmos; Dcolmos = diâmetro dos colmos; MST = massa seca total e IQD = índice de qualidade de Dickson.108
- Figura 10.** Representação gráfica das variáveis canônicas para variáveis morfológicas (A) e de qualidade (B) em mudas de *Guadua angustifolia* com aplicação de ureia. H = altura da parte aérea; D touceira = diâmetro da touceira; NF = número de folhas MSA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca das raízes; Ncolmos = números de colmos; Dcolmos = diâmetro dos colmos; MST = massa seca total e IQD = índice de qualidade de Dickson.109

Figura 11. Representação gráfica das variáveis canônicas para variáveis nutricionais dos macronutrientes (A), e micronutrientes (B) em erva-mate, com diferentes doses de nanofertilizante e ureia em adubação de cobertura em *Guadua angustifolia*, com diferentes doses de nanofertilizante e ureia em adubação de cobertura. 0, 2, 4, 6 e 8 ml de nanofertilizante e 2, 4, 6 e 8 g/litro de ureia (g/L^{-1}). N = nitrogênio; P = Fósforo; K = Potássio; Ca = Cálcio; Mg = Magnésio; S = Enxofre; B= Boro; Cu = Cobre; Fe = Ferro; Mn = Manganês; Zn = Zinco.....111

Figura 12. Representação gráfica das variáveis canônicas para lixiviação em mudas de *Guadua angustifolia* com diferentes doses de nanofertilizante e ureia em adubação de cobertura. 0 (ZAPL), 2, 4, 6 e 8 ml de nanofertilizante (NANO) e 2, 4, 6 e 8 (g L^{-1}) de ureia. Nlixiviado = nitrogênio lixiviado; Clixiviado = carbono lixiviado.113

Figura 13. Comportamento das variáveis morfológicas de mudas de erva-mate às diferentes doses de nanofertilizante. H = altura da parte aérea; D = diâmetro do coleto; NF = número de folhas MSA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca das raízes; NR = número de raízes; CMR = comprimento médio das raízes; DMR = diâmetro médio das raízes; MST= massa seca total; IQD = Índice de qualidade de Dickson. R^2 = coeficiente de determinação. p = p-valor da anova. Médias seguidas pela mesma letra não se diferenciam pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.....127

Figura 14. Comportamento das variáveis morfológicas de mudas de erva-mate às diferentes doses de ureia. H = altura da parte aérea; D = diâmetro do coleto; NF = número de folhas MSA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca das raízes; NR = número de raízes; CMR = comprimento médio das raízes; DMR = diâmetro médio das raízes; MST= massa seca total; IQD = Índice de qualidade de Dickson. R^2 = coeficiente de determinação. p = p-valor da anova. Médias seguidas pela mesma letra não se diferenciam pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.....130

Figura 15. Representação gráfica da correlação de Pearson para variáveis morfológicas de erva-mate, com diferentes doses de nanofertilizante em adubação de cobertura. H = altura da parte aérea; D = diâmetro do coleto; NF = número de folhas MSA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca das raízes; CMR = comprimento médio das raízes; DMR = diâmetro médio das raízes; MST = massa seca total e IQD = índice de qualidade de Dickson. Nível de significância: * = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$ e *** = $p < 0,001$132

Figura 16. Representação gráfica da correlação de Pearson para variáveis morfológicas de erva-mate, com diferentes doses de ureia em adubação de cobertura. H = altura da parte aérea; D = diâmetro do coleto; NF = número de folhas MSA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca das raízes; CMR = comprimento médio das raízes; DMR = diâmetro médio das raízes; MST = massa seca total e IQD = índice de qualidade de Dickison. Nível de significância: * = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$ e *** = $p < 0,001$133

Figura 17. Representação gráfica das variáveis canônicas para variáveis morfológicas (A) e de qualidade (B) em mudas de erva-mate com aplicação de nanofertilizante. H = altura da parte aérea; D = diâmetro do coleto; NF = número de folhas MSA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca das raízes; CMR = comprimento médio das raízes; DMR = diâmetro médio das raízes; MST = massa seca total e IQD = índice de qualidade de Dickison.....134

Figura 18. Representação gráfica das variáveis canônicas para variáveis morfológicas (A) e de qualidade (B) em mudas de erva-mate com aplicação de ureia. H = altura da parte aérea; D = diâmetro do coleto; NF = número de folhas MSA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca das raízes; CMR = comprimento médio das raízes; DMR = diâmetro médio das raízes; MST = massa seca total e IQD = índice de qualidade de Dickison.135

Figura 19. Representação gráfica das variáveis canônicas para variáveis nutricionais dos macronutrientes (A), e micronutrientes (B) em erva-mate, com diferentes doses de nanofertilizante e ureia em adubação de cobertura. 0, 2, 4, 6 e 8 ml de nanofertilizante e 2, 4, 6 e 8 g/litro de ureia (g L^{-1}). N = nitrogênio; P = Fósforo; K = Potássio; Ca = Cálcio; Mg = Magnésio; S = Enxofre; B= Boro; Cu = Cobre; Fe = Ferro; Mn = Manganês; Zn = Zinco.139

Figura 20. Representação gráfica das variáveis canônicas para lixiviação em mudas de erva-mate com diferentes doses de nanofertilizante e ureia em adubação de cobertura. 0 (ZAPL), 2, 4, 6 e 8 ml de nanofertilizante (Arbolina) e 2, 4, 6 e 8 (g L^{-1}) de ureia. N = nitrogênio lixiviado; C = carbono lixiviado.....141

Figura 21. Comportamento das variáveis morfológicas de mudas de *Alibertia edulis* às diferentes doses de nanofertilizante. H = altura da parte aérea; D = diâmetro do coleto; NF = número de folhas MSA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca das raízes; NR = número de raízes; CMR = comprimento médio das raízes; DMR = diâmetro médio das raízes; MST= massa seca total; IQD = Índice de

qualidade de Dickson. R^2 = coeficiente de determinação. p = p -valor da anova. Médias seguidas pela mesma letra não se diferenciam pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.....158

Figura 22. Comportamento das variáveis morfológicas de mudas de *Alibertia edulis* às diferentes doses de ureia. H = altura da parte aérea; D = diâmetro do coleto; NF = número de folhas MSA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca das raízes; NR = número de raízes; CMR = comprimento médio das raízes; DMR = diâmetro médio das raízes; MST= massa seca total; IQD = Índice de qualidade de Dickson. R^2 = coeficiente de determinação. p = p -valor da anova. Médias seguidas pela mesma letra não se diferenciam pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.....161

Figura 23. Representação gráfica da correlação de Pearson para variáveis morfológicas de *Alibertia edulis*, com diferentes doses de nanofertilizante em adubação de cobertura. H = altura da parte aérea; D = diâmetro do coleto; NF = número de folhas MSA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca das raízes; CMR = comprimento médio das raízes; DMR = diâmetro médio das raízes; MST = massa seca total e IQD = índice de qualidade de Dickson. Nível de significância: * = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$ e *** = $p < 0,001$164

Figura 24. Representação gráfica da correlação de Pearson para variáveis morfológicas de *Alibertia edulis*, com diferentes doses de ureia em adubação de cobertura. H = altura da parte aérea; D = diâmetro do coleto; NF = número de folhas MSA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca das raízes; CMR = comprimento médio das raízes; DMR = diâmetro médio das raízes; MST = massa seca total e IQD = índice de qualidade de Dickson. Nível de significância: * = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$ e *** = $p < 0,001$165

Figura 25. Representação gráfica das variáveis canônicas para variáveis morfológicas (A) e de qualidade (B) em mudas de *Alibertia edulis* com aplicação de nanofertilizante. H = altura da parte aérea; D = diâmetro do coleto; NF = número de folhas MSA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca das raízes; CMR = comprimento médio das raízes; DMR = diâmetro médio das raízes; MST = massa seca total e IQD = índice de qualidade de Dickson.....166

Figura 26. Representação gráfica das variáveis canônicas para variáveis morfológicas (A) e de qualidade (B) em mudas de *Alibertia edulis* com aplicação de ureia. H = altura da parte aérea; D = diâmetro do coleto; NF = número de folhas MSA

= massa seca da parte aérea; MSR = massa seca das raízes; CMR = comprimento médio das raízes; DMR = diâmetro médio das raízes; MST = massa seca total e IQD = índice de qualidade de Dickison.167

Figura 27. Representação gráfica das variáveis canônicas para variáveis nutricionais dos macronutrientes (A), e micronutrientes (B) em *Alibertia edulis*, com diferentes doses de nanofertilizante e ureia via adubação de cobertura. 0, 2, 4, 6 e 8 ml de nanofertilizante e 2, 4, 6 e 8 g/litro de ureia (g L^{-1}). N = nitrogênio; P = Fósforo; K = Potássio; Ca = Cálcio; Mg = Magnésio; S = Enxofre; B= Boro; Cu = Cobre; Fe = Ferro; Mn = Manganês; Zn = Zinco.171

Figura 28. Representação gráfica das variáveis canônicas para lixiviação em mudas de *Alibertia edulis* com diferentes doses de nanofertilizante e ureia em adubação de cobertura. 0 (ZAPL), 2, 4, 6 e 8 ml de nanofertilizante (NANO) e 2, 4, 6 e 8 (g L^{-1}) de ureia. Nlixiviado = nitrogênio lixiviado; Clixiviado = carbono lixiviado.173

Lista de tabelas

Tabela 1. Médias dos melhores resultados dos aspectos morfológicos nos tratamentos de nanofertilizante e ureia em erva-mate.....	84
Tabela 2. Conteúdos de macro (g/Kg ⁻¹) e micronutrientes (ppm) da parte aérea de mudas clonais de eucalipto com aplicação de nanofertilizante na adubação de cobertura.....	86
Tabela 3. Médias dos melhores resultados dos aspectos morfológicos nos tratamentos de nanofertilizante e ureia em <i>Guadua angustifolia</i>	110
Tabela 4. Conteúdos de macro (g/Kg) e micronutrientes (ppm) da parte aérea de mudas de <i>Guadua angustifolia</i> produzidas com diferentes formas e doses de adubação de cobertura	110
Tabela 5. Variáveis de lixiviação em mudas de <i>Guadua angustifolia</i> com diferentes doses de nanofertilizante e ureia em adubação de cobertura.....	112
Tabela 6. Médias dos melhores resultados dos aspectos morfológicos nos tratamentos de nanofertilizante e ureia em erva-mate.....	136
Tabela 7. Conteúdos de macro (g/Kg) e micronutrientes (ppm) da parte aérea de mudas de erva-mate produzidas com diferentes formas e doses de adubação de cobertura.....	138
Tabela 8. Variáveis de lixiviação em mudas de erva-mate com diferentes doses de nanofertilizante e ureia em adubação de cobertura.....	140
Tabela 9. Médias dos melhores resultados dos tratamentos de nanofertilizante e ureia nos aspectos morfológicos de <i>Alibertia edulis</i>	167
Tabela 10. Conteúdos de macro (g/Kg) e micronutrientes (ppm) da parte aérea de mudas de <i>Alibertia edulis</i> produzidas com diferentes formas e doses de adubação de cobertura.....	170
Tabela 11. Variáveis de lixiviação em mudas de <i>Alibertia edulis</i> com diferentes doses de nanofertilizante e ureia em adubação de cobertura.....	173

1. INTRODUÇÃO

A evolução das técnicas de produção de mudas de espécies florestais nativas e exóticas, busca a otimização das práticas de manejo realizadas nos viveiros florestais, como melhoria dos padrões de qualidade das características morfológicas, redução da quantidade de insumos de adubação e volume de irrigação, bem como maior rendimento operacional.

As práticas de manejo realizadas para produção das mudas em viveiros devem sempre estar atreladas ao custo, e o viveirista deve ter como meta a produção de mudas com padrões de qualidade e de custo acessível viabilizando a comercialização. A evolução dos insumos que envolvem a produção de mudas em viveiro, passa por várias modificações ao longo do tempo, seja pelo surgimento de novos insumos e produtos, e a geração de novas tecnologias, estimulando os pesquisadores e o mercado a realizarem estudos voltados à repostas das espécies nativas e exóticas quanto ao seu crescimento e desenvolvimento em viveiro (Jorge *et al.*, 2019; Walker *et al.*, 2011; Xavier *et al.*, 2003).

A adubação é umas das práticas de manejo de maior importância e cuidados nos viveiros florestais. Tanto as espécies nativas quanto exóticas, devem apresentar uma boa resposta ao uso dos insumos utilizados nas adubações, seja inicial ou de cobertura. O crescimento das mudas é influenciado pela maximização da absorção dos macros e micronutrientes, contribuindo eficazmente para se chegar aos parâmetros de qualidade que diretamente influenciarão a adaptação, o estabelecimento, e o desenvolvimento destas, quando levadas para o plantio.

Assim a utilização de nanofertilizantes, que vem sendo amplamente empregado em diferentes espécies agrônômicas e demonstra aumento da eficiência da adubação torna-se uma alternativa viável. Sabe-se que diferentes nanotecnologias são propostas, lançadas e avaliadas nos mais diversos níveis da ciência (Hoang *et al.*, 2022; Hofmann *et al.*, 2020; Wang *et al.*, 2022; Zhang *et al.*, 2021), oferecendo soluções sustentáveis, aumento da eficiência da utilização de nutrientes, maior eficácia no manejo de pragas, mitigação de

impactos causados pelas mudanças climáticas, redução nos impactos ambientais entre outras.

A nanotecnologia vem ganhando posição de destaque, principalmente na agricultura, trazendo consigo evoluções significativas e eficientes na produção de agroquímicos (Azeez *et al.*, 2021; Du *et al.*, 2022; El-Shetehy *et al.*, 2021; Kah *et al.*, 2018; White; Gardea-Torresdey, 2018), sendo considerada um dos avanços tecnológicos mais recentes do século XXI, com bons resultados na produtividade das mais diversas culturas agrícolas (Kah *et al.*, 2018; Kumar *et al.*, 2022b).

Estudos com nanofertilizantes vem sendo utilizados para diversas espécies de importância agrônômica como quiabo, tomate, pepino, milho, arroz, milho e em arbóreas agrônômicas como manga, pêssego e romã (Abo El-Hamd; Abd Elwahed, 2018; Davarpanah *et al.*, 2016a; Dimkpa *et al.*, 2018, 2019; Elsheery *et al.*, 2020; Sharma, G. *et al.*, 2020).

No setor florestal a nanotecnologia vem sendo usada em diferentes áreas, como: manejo florestal, tecnologia da madeira e silvicultura, gerando e empregando nanomateriais para os mais diversos fins (Ajday *et al.*, 2021; Ivanova; Malitskaya, 2019; Singh *et al.*, 2021; Tardy *et al.*, 2019). Entretanto, em viveiros florestais, ainda são incipientes os estudos sobre a aplicação de nanofertilizantes nas respostas de crescimento de espécies nativas e exóticas.

De maneira geral, nanofertilizantes possuem liberação lenta e controlada, podendo fornecer nutrientes com maior eficiência, minimizar a lixiviação de nutrientes, promovendo a sustentabilidade, de forma que ao melhorar a eficiência do uso de nutrientes se mostra mais eficaz que fertilizantes tradicionais em relação à liberação de nutrientes e ecotoxicidade (Haydar; Ghosh; Roy, 2024a).

São considerados nanofertilizantes partículas contidas, geralmente, entre 1–100 nm, trazendo consigo impactos significativos em vários aspectos da agricultura mundial, como a germinação de sementes, crescimento de plantas, desenvolvimento, aumento de produção, aumento nutricional, controle de doenças e manejo do estresse das plantas (Duhan *et al.*, 2017; Elemike *et al.*, 2019; Haydar; Ghosh; Roy, 2024b; Khan; Saeed; Khan, 2019).

Em relação a utilização de nanofertilizantes no setor florestal, principalmente a produção de mudas em viveiro ainda é incipiente, desta forma

buscamos através de uma parceria inédita com KRILLTECH NANOTECNOLOGIA, testar o nanofertilizante Arbolin Biogenesis®. Desenvolvido pela empresa, que é encubada na Univerisidade de Brasília (UnB), o Arbolin Biogenesis® é um nanofertilizante concentrado, líquido, que entrega Carbono Orgânico e Nitrogênio para as plantas. Podendo ser misturado de forma simples ou complexa, uma vez que não interfere em outros componentes comumente utilizados em calda mantendo seu desempenho inalterado. Arbolin Biogenesis®, é registrado no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA sob o número BA001066-9.000001.

Com a utilização da nanotecnologia na fertilização de mudas em viveiro espera-se vantagens, pois os nanofertilizantes, possuem alta reatividade, ou seja, aumentam a biodisponibilidade de nutrientes e a bioatividade às plantas, promovendo melhorias na estrutura, crescimento e desenvolvimento quando comparado aos fertilizantes tradicionais (DeRosa; al., 2010; Gupta, 2022; Sharma, S. *et al.*, 2020; Wang *et al.*, 2016), produzindo mudas mais padronizadas e com alta qualidade, seguindo os preceitos determinados por diversos pesquisadores.

Deste modo, a substituição dos insumos tradicionais pelos nanotecnológicos, pode trazer diversas vantagens como: a diminuição do tempo de viveiro, redução da irrigação, menor perda de insumos por lixiviação, maior absorção de macro e micronutrientes, mudas com maior vigor, redução do espaço de armazenamento de insumos, trazendo maior otimização das práticas de manejo no viveiro, e conseqüentemente atenuar as despesas gerais do viveirista.

2. OBJETIVOS

2.1 GERAL

- Avaliar o efeito de nanofertilizante e ureia na produção de mudas de eucalipto, bambu, erva mate e *Alibertia edulis* bem como o padrão de lixiviação de ambos.

2.2 ESPECÍFICOS

- Avaliar se a aplicação de nanofertilizante ao substrato de produção de mudas promove diferenças no enraizamento, crescimento, padrões de qualidade e nutricionais de mudas clonais de eucalipto em viveiro;
- Avaliar se a aplicação de nanofertilizante em adubação base e de cobertura, influenciam na aclimação pós cultivo *in vitro* e crescimento de mudas de bambu e em suas qualidades nutricionais;
- Avaliar se a aplicação de nanofertilizante em adubação base e de cobertura, influenciam o estabelecimento e crescimento de mudas de *Ilex paraguariensis* A.St.-Hil., bem como nas qualidades nutricionais;
- Avaliar se a aplicação de nanofertilizante em adubação de cobertura promove diferenças no sistema radicular, crescimento, padrões de qualidade nutricionais de mudas de *Alibertia edulis* (Rich.) A. Rich. ex DC. em viveiro;
- Avaliar se o nanofertilizante apresenta lixiviação de nitrogênio e carbono orgânico menores que a adubação convencional (ureia).

3. ESTRUTURA DA TESE

A tese é apresentada e contextualizado em quatro capítulos, uma vez que a pesquisa foi realizada com diferentes espécies, bem como diferentes modos de produção e desenvolvimento de mudas em viveiro.

Capítulo 1: Respostas da aplicação de nanofertilizantes na rizogênese e no crescimento de mudas clonais de eucalipto em viveiro.

Capítulo 2: Aclimatização *ex vitro* de mudas micropropagadas de bambu com a aplicação de nanofertilizante e ureia em adubação de cobertura em viveiro.

Capítulo 3: Crescimento de mudas de *Ilex paraguariensis* St. Hil. à adubação de cobertura com nanofertilizante e ureia.

Capítulo 4: Padrões de qualidade de mudas de *Alibertia edulis* (Rich.) A. Rich. ex DC. à aplicação de nanopartículas de Carbono Orgânico (C org) e Nitrogênio (N) em adubação de cobertura em viveiro.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Espécies utilizadas na pesquisa

4.1.1 Eucalipto

Os Eucaliptos são árvores de grande porte, com aproximadamente 55 m de altura, tronco robusto, copa aberta e casca fibrosa, com diâmetros variando bastante. Pertencentes à família Myrtaceae, o gênero *Eucalyptus*, é originário da Oceania, com cerca de 600 espécies nativas, muitas delas apresentam propriedades físicas e químicas para serem utilizadas nos mais diversos fins, como lenha, estacas, moirões, dormentes, carvão vegetal, papel e celulose, chapas laminadas e compensados, móveis, medicamentos, perfumaria, entre outros (Longue Júnior *et al.*, 2013; Marchiori; Sobral, 1997).

Os primeiros plantios homogêneos de eucaliptos foram feitos no início do século XVIII na Ásia, Europa e África, e a partir do século XIX começou a ser introduzido em países da América do Sul (Pryor, 1976). No Brasil, os plantios começaram por volta de 1904, utilizados inicialmente para lenha e dormentes para ferrovias, no estado de São Paulo e posteriormente estendendo-se por demais regiões do país (Mora; Garcia, 2000). Atualmente, as espécies de eucaliptos têm sido utilizadas em larga escala nos mais diversos setores, como indústrias de celulose e papel, serrarias, energia, carvão vegetal entre outras e a expansão das áreas de cultivo não param.

No geral, em 2020, a área total de florestas plantadas foi de 9,55 milhões de hectares, sendo 78% da área cultivada por espécies de eucalipto, com 7,47 milhões de hectares, seguido pelo pinus com 18% da área total, com cerca de 1,7 milhão de hectares e o restante, apenas 4%, cultivado com outras espécies, com destaque para seringueira, acácia, teca e paricá (IBA, 2021). As áreas de florestas plantadas representaram aproximadamente 1% do produto interno bruto (PIB) brasileiro, movimentando cerca de 12 bilhões de dólares/ano, gerando cerca de 2,8 milhões de empregos diretos e indiretos (IBA, 2021).

O Brasil ocupa um cenário de destaque na produção de eucalipto, sendo um dos maiores produtores mundiais. Os principais produtores brasileiros de eucalipto ainda seguem sendo os Estados de Minas Gerais, São Paulo, Mato

Grosso do Sul, Paraná, Rio Grande do Sul e Santa Catarina, entre tanto, com a escassez de novas áreas para plantio, está havendo uma grande expansão de áreas de plantios principalmente para o centro-oeste e nordeste. Dados estimam que as áreas de plantios, na nova fronteira da silvicultura, aumentaram os plantios em cerca de 810 mil hectares (IBA, 2021).

A região Centro-Oeste é considerada atualmente como uma das novas fronteiras da silvicultura, principalmente devido ao clima e solo, que proporcionam expressivo crescimento. Além de ser um local em pleno desenvolvimento econômico e agrícola, gerando demandas para diversos usos de consumo interno, e para exportação (IBA, 2021; IBGE, 2020).

O maior produtor da região centro-oeste é o Estado de Goiás, com 59 % da produção total, com destaque para a produção de toras, lenha e carvão vegetal. Os demais Estados do Centro-Oeste e Distrito Federal ficam com o restante da produção, 41%, de eucalipto (IBA, 2021; IBGE, 2020).

Deste modo, constata-se que a produção de eucalipto tem papel fundamental na economia florestal brasileira, contribuindo de forma efetiva para cadeia produtiva de florestas plantadas e para o desenvolvimento do setor florestal. No entanto, com a expansão dos plantios para essas novas áreas, com solos de baixa fertilidade e épocas do ano com baixa disponibilidade hídrica (dos Santos *et al.*, 2021), é imprescindível readaptar práticas silviculturais devido as condições edáficas e climáticas, selecionando clones de eucalipto com maior adaptabilidade (dos Santos *et al.*, 2018; Oliveira *et al.*, 2020).

Na silvicultura, verifica-se a necessidade do aperfeiçoamento de técnicas de manejo em viveiros, principalmente relacionadas ao aumento da efetividade dos produtos utilizados para a fertilização, agregando maior qualidade nas mudas, uma vez que essa melhoria pode trazer melhorias no enraizamento, maior vigor, encurtamento do espaço de viveiragem entre outros.

Na produção de mudas de *Eucalyptus*, são descritas diversas formulações e recomendações de fertilização, seja via seminal ou através da clonagem, uma vez que as formulações devem ser adaptadas de acordo com as necessidades e especificidades de cada viveiro.

Em relação à adubação de base, referente a cada m³ em substratos comerciais com adubação de base pode ser utilizado o superfosfato simples (3 Kg), cloreto de potássio (150 g); FTE® BR 9 (Enxofre (3%), Boro (1,8%), Manganês (2%), Zinco (9%)) ou BR 12 (1 Kg). Já em substratos sem adubação de base (formulados no viveiro) são utilizados o superfosfato simples (4 Kg), cloreto de potássio (200 g); FTE® BR 9 ou BR 12 (1,5 Kg) (Wendling *et al.*, 2021).

Estudos sob a influência de diferentes doses de nitrogênio (N) em miniestquia de *Eucalyptus dunnii* Maiden, constataram uma crescente produtividade de miniestacas conforme a concentração de N aumentava, evidenciando a influência da adubação com N. Deve-se observar que doses de N, os superiores a 6 g L⁻¹ são fortemente indicados para aplicação em minijardins clonais. (da Rosa *et al.*, 2009). Outro fator muito importante na clonagem de eucalipto, a produção de biomassa, é favorecida em minicepas de *Eucalyptus dunnii*, devido a utilização de amônio (NH₄⁺), de forma isolada ou combinada com nitrato (NO₃⁻), através de fertirrigação em minicepas (da Rosa *et al.*, 2009; Rosa *et al.*, 2015).

Em relação a adubações alternativas, Magalhães *et al.* (2017) testando fosfato reativo de Biochar misturado ao conteúdo ruminal de bovinos de corte em estágio inicial de mudas do clone I144 (*E. urophylla* x *E. grandis*), verificaram que a adubação proporcionou crescimento das mudas similar ao tratamento controle (fósforo), tornando-se alternativa para a produção de mudas do clone em questão.

Em linhas gerais, para adubação de cobertura em eucaliptos, são especificadas diferentes formulações para cada fase de produção (adubação de arranque, de crescimento e de rustificação), seja para propagação sexuada quanto a vegetativa.

Na de arranque (até 21 dias após a fase de germinação, em mudas via sementes ou fase de aclimatação em casa de sombra, na propagação vegetativa) são indicados a formulações contendo: sulfato de amônio (0,3 g), superfosfato simples (4,6 g); cloreto de potássio (2,1 g); FTE® BR 10 ou BR 12 (0,5 g) por L de água respectivamente. Os mesmos deverão ser solubilizados em água, sendo que a dose para aplicação da solução a cada mil mudas é de 3 L, com seis a oito aplicações intercaladas a cada três dias para mudas de

sementes e uma a duas por semana para mudas de propagação vegetativa (Wendling *et al.*, 2021).

Para a adubação de crescimento Wendling *et al.* (2021) cita a utilização de 8 g de ureia por L de água juntamente com Yoorim MG ou superfosfato simples (6 g por L de água) e FTE® BR 10 ou BR 12 (0,5 g por L de água). Por fim é indicado a adição de cloreto de potássio, sendo 6 g por L de água para mudas seminais ou 2,1 g por L de água para mudas clonais. Já para a fase de rustificação é indicado sulfato de amônio (5 g por L de água), superfosfato simples (supersimples) ou Yoorin MG (10 g por L de água); cloreto de potássio (4 g por L de água); FTE® BR 10 ou BR 12 (0,5 g por L de água).

Alguns estudos também demonstram a eficácia de novas tecnologias, como Monteiro (2017), que ao avaliar a influência BacSol (fertilizante orgânico 100% natural composto de microrganismos benéficos ao solo e as plantas). na nutrição mineral e eficiência de uso de nutrientes em mudas de *Eucalyptus benthamii* verificaram que a aplicação do produto aumentou a concentração dos nutrientes nos componentes foliares e em hastes de mudas e resultou em maior eficiência de uso dos nutrientes avaliados na produção de biomassa da parte aérea. Outros diversos trabalhos citam diferentes alternativas para adubação de mudas clonais e seminais como lodo de curtume, lodo de esgoto entre outros bio sólidos (Bitencourt *et al.*, 2022; Bitencourt; Deknes; Laura, 2022; De Oliveira Garcia *et al.*, 2010; Possato *et al.*, 2014).

4.1.2 Bambu

A família Poaceae, da qual os bambus são pertencentes, é atualmente a quarta maior família à nível mundial, e é composta por 771 gêneros e cerca de 12.074 espécies (Barker *et al.*, 2001; Clark; Zhang Weiping; Wendel, 1995; Clayton; Renvoize, 1986; Kelchner; Group, 2013; Liu *et al.*, 2014; SORENG *et al.*, 2015). Desse montante, mais de 1.400 são bambus, ou seja, cerca de 12% do total de espécies da família, distribuídas em cerca de 16 gêneros até o momento (Junqi *et al.*, 2022; Kelchner; Group, 2013; Lin; Huang; Fang, 2012; SORENG *et al.*, 2015; Yang *et al.*, 2008).

No Brasil, os bambus, estão compreendidos em cerca de 200 espécies, considerando nativas e exóticas adaptadas, sendo o país com maior ocorrência

de bambus no continente americano (Filgueiras; Viana, 2017). Para o gênero *Guadua*, atualmente, são reconhecidas cerca de 19 espécies nativas sendo 5 delas endêmicas, como a espécie *Guadua Magna*, encontrada somente no estado de Goiás (Filgueiras; Viana, 2017; Pereira; Beraldo, 2016; Young; Judd, 1992)

Outra espécie do gênero *Guadua* bastante cultivada em diversas regiões brasileiras, incluindo o centro-oeste, é *Guadua angustifolia*, exótica, porém muito difundida devido ao seu vigor, podendo alcançar alturas de cerca de 35 metros, e o diâmetro dos colmos pode chegar a 25 cm de diâmetro (Peixoto *et al.*, 2021; Young; Judd, 1992), sendo empregada facilmente na construção civil, fabricação de compósitos e painéis compensados, biomassa entre outros.

Os bambus têm se destacado como novas alternativas de matéria-prima de base fibrosa para diversos setores da indústria, como a produção de compósitos, papel e celulose, hidrogéis, energia, biocombustível e extração de amido, construção civil, bioengenharia, fabricação de móveis, artesanatos, produtos farmacêuticos, cosméticos, alimentícios, medicinais (Anggalih, 2021; Choi *et al.*, 2022; Gu *et al.*, 2022; Martijanti *et al.*, 2021; Tiza *et al.*, 2021; Xu *et al.*, 2022; Yadav; Mathur, 2021), no entanto, são catalogados mais de 4 mil usos.

Mundialmente, são cultivados cerca de 50 milhões de hectares de bambu, movimentando cerca de 60 bilhões de dólares/ano e os maiores produtores são China e Índia que juntas produzem, anualmente, mais de 10 milhões de toneladas (Anunciato *et al.*, 2020), com destaque para o governo Chinês, que na última década, forneceu apoio e investimento em seus plantios aumentando em mais de 800.000 hectares através de programas que fazem parte de estratégias nacionais de revitalização de áreas bem como se tornar neutro em emissão de carbono (Junqi *et al.*, 2022).

No Brasil, são cultivados aproximadamente 1,5 milhão de hectares de bambu, e a produção anual atinge cerca de 150 mil toneladas tendo como principal produtor o Estado do Acre, seguido pelo Maranhão localizados nos estados do Maranhão, Piauí, Pernambuco, Paraíba e Bahia, e destinam-se principalmente ao fornecimento de biomassa e celulose e papel (Anunciato *et al.*, 2020; Santi, 2015). Já os Estados de São Paulo, Rio Grande do Sul, Minas

Gerais, Bahia e Paraná investem em cultivos comerciais com foco na produção de painéis, broto e fito-cosméticos (Anunciato *et al.*, 2020).

No centro-oeste, atividades multidisciplinares têm sido desenvolvidas pela Rede Bambu Goiás, criada no ano de 2013, a rede propôs avanços importantes na área científica e técnicas (De Sousa *et al.*, 2022), e um dos focos da pesquisa é o melhoramento genético e conservação das espécies de bambus. Alguns trabalhos relacionados estão sendo realizados pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), contando com a parceria da Universidade de Brasília (UnB) (Anunciato *et al.*, 2020; De Sousa *et al.*, 2022; Silva, S. M. M. *et al.*, 2020).

Os estudos visam definir protocolos para a produção de mudas em laboratório, através da propagação *in vitro*, e estabelecimento em viveiro permitindo assim multiplicar bambus de forma rápida, ofertando mudas de qualidade, em larga escala, reduzindo o tempo e os custos com mão de obra e melhorar a adaptação da espécie na região aumentando a tolerância a fatores bióticos e bióticos.

Alguns estudos já foram realizados testando diferentes fontes de adubação e hidretentores para aumento da disponibilidade hídrica e tipos de propágulos no estabelecimento de mudas em viveiro no Distrito Federal e entorno (DE SOUSA *et al.*, 2022; DE SOUSA, 2018) no entanto, muito há de se pesquisar quando se fala em estabelecimento das mudas propagadas *in vitro* para o ambiente em viveiro, uma vez que são providas e multiplicados em ambiente totalmente controlado tornando a adequação ao substrato, disponibilidade hídrica, doses e formas de fertilização entre outros difícil de ser regulada e dosada.

Alguns estudos citam a utilização da fertilização de mudas de bambu através dos mais diversos produtos, até mesmo a utilização de fontes não convencionais, como bio-sólidos por exemplo. No início da brotação de bambus a adubação é de extrema importância, sendo necessário que o substrato esteja com quantidades suficientes de nutrientes.

De forma geral, nitrogênio, fósforo e potássio são os elementos mais requeridos e de maior participação no acúmulo de biomassa total dos bambus (FUDANO *et al.*, 2016; Reddy *et al.*, 2003; Sa; Joo, 1970), sendo utilizados, em suma maioria, na proporção 7:6:1 (Kleinhenz; Midmore, 2001). Segundo

Mendes et al. (2010), o potássio é um elemento que pode ser temporariamente armazenado nos colmos para uso em momentos específicos, sendo o elemento com menor eficiência de uso pela planta e mais exportado do solo pela exploração de biomassa.

Em estudos com aplicação de fósforo, Liu et al. (2015), detectaram uma melhora significativa na taxa de crescimento em mudas de bambu anão submetido a déficit hídrico, reduzindo os danos causados pela falta d'água.

Em estudos sobre o efeito do adensamento de bambus à campo, foi utilizado como adubação padrão a aplicação de 100 gramas por planta de NPK (6-30-6), sendo considerada a adubação de base. Já na adubação de cobertura, foi utilizado 150 gramas de NPK (20-0-20) por planta, com adição dos micronutrientes: zinco (0,5%) e boro (0,3%), aos 60 dias após o plantio, e 180 gramas de NPK (20-0-20) juntamente com zinco (0,5%) e boro (0,3%), aos 180 dias após o plantio (Filgueiras; Viana, 2017).

Já em formas alternativas de adubação, Maia et al. (2022), estudaram diferentes tipos de propágulos com a incorporação de lodo de esgoto ao substrato para produção de mudas de *Bambusa vulgaris*, e obtiveram resultados satisfatórios quanto ao crescimento e enraizamento dos propágulos.

4.1.3 Erva-mate

A Erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.), pertence à família Aquifoliaceae, em distintos locais é conhecida popularmente também como chá-de-Paraguai, chá-dos-jesuítas, erva-do-diabo, yerba-santa, entre outros (SCHERER, 1997; SOUZA; LORENZI, 2008, 2012), de forma nativa a medir cerca 15 metros, já em plantios comerciais atinge no máximo 7 metros, pois está sujeita a podas periódicas para a retirada de galhos e folhas (Fleig; Schneider; Finger, 2003; Sobral *et al.*, 2013; SOUZA; LORENZI, 2008, 2012) sobrevivendo por cerca de 40 anos (De Oliveira; Waquil, 2014).

Espécie endêmica da América do Sul, ocorre naturalmente na Argentina, Paraguai e Brasil (Rossa, 2013; Sobral *et al.*, 2013; SOUZA; LORENZI, 2008, 2012) compreendendo um território de abrangência com mais de 540.000 km². Em território brasileiro, ocorre naturalmente nos estados situados entre as latitudes de 21°S a 30°S e longitudes de 48°30'W a 56°10'W (Oliveira; Rotta,

1985), Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul, Mato Grosso do Sul e uma pequena porção do Sudoeste de São Paulo (Carvalho, 2003).

Possui melhor adaptabilidade em altitudes situadas entre 500 a 1.500 metros, podendo ocorrer fora desses limites, entretanto menos frequente. O clima ideal para o desenvolvimento da erva-mate situa-se nos tipos Cfa e Cfb, e em menor frequência em climas subtropical de altitude Cwa, Cwb e tropical Aw (ROSSA, 2013). As precipitações médias ideais para espécie ficam compreendidas entre 1.200 e 1.500 mm/ano (Carvalho, 2003), habitando solos ácidos e pouco férteis (Berger, 2006).

O beneficiamento da erva-mate é fonte de renda vital para produtores sul brasileiros. No Rio Grande do Sul, a espécie integra um dos sistemas agroflorestais mais antigos, desempenhando fatores socioeconômicos fundamentais (Berger, 2006), uma vez que os ervais são plantados em consórcio com diversas outras espécies, otimizando a área de cultivo e agregando maior valor de biomassa (Pasinato, 2003; Rossa, 2013).

Em plantios homogêneos, a primeira colheita pode ser realizada em três ou quatro anos após o plantio (Cardozo *et al.*, 2021; Pagliosa, 2009), sendo o período de maio a setembro o mais apropriado para a colheita, especialmente junho, julho e agosto, uma vez que nesses meses a planta sofre menos danos, pois está em repouso vegetativo, e deste modo não há brotação imediata (Maccari Junior, 2005).

Na colheita, são removidos galhos e ramos, e extraídos ramos finos e folhas para produção de inúmeros produtos, com destaque erva-mate para chimarrão (Fleig; Schneider; Finger, 2003; Montoya; Mazuchowski Jorge Z, 1994; Pagliosa, 2009; Roque Dallabrida *et al.*, 2016). No Brasil, a produção de erva-mate compreende mais de 19.000 propriedades, com uma área de plantio superior a 39.000 hectares movimentando mais de 175 bilhões de reais/ano, sendo os estados da região sul os maiores produtores com destaque para o Paraná que, atualmente, é o maior produtor (IBRAMATE, 2021).

Em 2020, o setor ervateiro produziu 527.546 toneladas, e a área de plantio que antes era de 70.305 hectares no ano de 2019, passou para 72.122 hectares em 2020. Além dos quatro tradicionais estados produtores Mato Grosso do Sul, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, outros Estados

começam a implantar atividades no ramo da erva-mate (IBGE, 2020; IBRAMATE, 2021).

Os Estados do Amapá, Bahia, Ceará, Espírito Santo, Mato Grosso, Minas Gerais, Paraíba, Pará, Pernambuco, Rio de Janeiro, Rondônia, São Paulo, Tocantins e Goiás, que junto com Mato Grosso do Sul, vem somando forças na e apresenta atividade ervateira recentemente na região centro-oeste (IBRAMATE, 2021).

Já é sabido que a produção de erva-mate possui papel fundamental na economia da região sul do Brasil, e com a expansão para outros Estados onde há solo, regime pluviométrico e clima diferentes é imprescindível estudar novas práticas silviculturais para espécie, fazendo com que a expansão de novas áreas e o crescimento da produção sejam de fato consumados através de novos protocolos para produção de mudas e plantio, com ênfase na adubação.

De modo geral, em mudas de erva-mate, é vital proporcionar um aporte de nutrientes de forma adequada, visando promover o equilíbrio nutricional, para o desenvolvimento e produção de mudas de qualidade. Uma vez que o tipo de adubação, intensidade, período e a forma de aplicação possuem influência direta na produção de mudas, tanto clonais quanto seminais (Duarte *et al.*, 2020; Gabira *et al.*, 2020; Ivar Wendling *et al.*, 2020; WENDLING *et al.*, 2020).

Sabe-se que a adubação de cobertura, geralmente via fertirrigação ou através de aplicações individualizadas na base das mudas, é de extrema importância. Deste modo cada etapa desse processo de produção demanda quantias específicas de fertilizantes, bem como diferentes formulações fazendo com que haja a necessidade constante de novas pesquisas e estudos visando determinar diferentes alternativas de adubação para a produção de mudas das mais variadas espécies (Penteado Junior; Goulart, 2019). Alguns estudos recentes destacam a utilização das mais variadas alternativas de fertilização para erva-mate.

Ao utilizar forma de adubação alternativa (cama de frango), Benedetti *et al.* (2019) definiram distintas doses, sendo constatada que a adubação orgânica estimula o crescimento em altura da erva-mate e pode ser indicada como fonte de nutrientes para o manejo nutricional da espécie.

Outra forma muito utilizada para a adubação alternativa é o dejetos suíno, devido ao grande número de criadores na região sul, esse material é de fácil obtenção e com baixo custo. Já em relação a adubação com fertilizantes convencionais, é realizada geralmente com adição de nitrogênio, fósforo potássio, sendo indicada diferentes doses durante o processo de crescimento das mudas e plantio à campo (Ceconi et al., 2007a; Mazuchowski; Da Silva; Maccari, 2007; Pandolfo et al., 2003a; Penteado Junior; Goulart, 2019; Poletto et al., 2011; Ribeiro; Reissmann; Corrêa, 2008; Saidelles; Reinert; Salet, 2003; Santin et al., 2013a, 2017, 2019a).

4.1.4 *Alibertia edulis*

Alibertia edulis (Rich.) A. Rich. ex DC. conhecida popularmente por marmelo do cerrado ou puruí, é uma espécie pertencente à família Rubiaceae, uma árvore de pequeno porte, podendo ter de 3 até 8 metros de altura (Carvalho, 2003; SOUZA; LORENZI, 2008, 2012). semidecídua dioica terrícola (Fantinel et al., 2014).

Produz frutos comestíveis de grande interesse medicinal, muito utilizada na medicina tradicional (SOUZA; LORENZI, 2008, 2012). É uma espécie de crescimento rápido com frutificação de agosto a dezembro, podendo ocorrer uma safra em menores quantidades em março e maio, normalmente ocorre após 3 anos de idade da árvore (Gentry, 1992; SOUZA; LORENZI, 2008, 2012).

No Brasil a espécie *Alibertia edulis* (Rich.) A. Rich. ex DC. possui importância no ecossistema do bioma do cerrado, e na região central do país, podendo ser encontrada no Acre, Amazonas, Bahia, Ceará, Distrito Federal, Goiás, Maranhão, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Pará, Piauí, Rondonia, São Paulo e Tocantins. É uma espécie que possui capacidade de se desenvolver em solos pobres e arenosos, com alta resistência a períodos de seca (ALMEIDA et al., 1998; LORENZI, 2002 DA SILVA et al., 2008; LIZAMA ALLENDE; FLETCHER; SUN, 2012; MIRANDA et al., 2011).

Sabe-se que para a formação de mudas em viveiro é importante a disponibilidade de nutrientes, principalmente nitrogênio, fósforo e potássio, uma vez que ambos exercem grande influência na qualidade das mudas e seu

posterior desenvolvimento à campo (Tucci; Lima; Lessa, 2009), sendo utilizadas diferentes formulações, dosagens e formas de aplicação variando de espécie para espécie, local, disponibilidade de insumos entre outros.

Atualmente, ainda são utilizados em larga escala os fertilizantes convencionais como ureia, NPK, fosfato, nitrato de amônio, sulfato de amônio e nitrato de cálcio (da Silva Araújo *et al.*, 2020; Goulart *et al.*, 2017; Tucci; Lima; Lessa, 2009), adubação alternativa com bio sólidos (Carvalho *et al.*, 2022; Matias *et al.*, 2019; Rosário *et al.*, 2022; Trigueiro; Guerrini, 2014) e orgânicos em geral (de Mello Cunha *et al.*, 2006; Mota *et al.*, 2016; Rayza; Vieira, 2020).

4.2 Práticas de manejo na produção de mudas em viveiro

A produção de mudas possui diversos fatores que influenciam em seu crescimento durante a fase de viveiro. Neles, pode-se incluir a água, fonte de nutrientes, sombreamento, substrato, idade da planta matriz, ervas daninhas, pragas, controle de doenças e pragas (AKPO *et al.*, 2014; POORTER *et al.*, 2012). Deste modo, práticas de viveiro devem planejadas previamente, bem implementadas de aplicação acessível, para que desta forma se obtenha mudas de qualidade (AKPO *et al.*, 2014; DURYEA, 1984). A fonte de água, deve fornecer água limpa e de forma perene, devendo ser suficiente para irrigação em qualquer época do ano (Graciolli *et al.*, 2016).

A qualidade do substrato é um dos fatores mais importantes nos viveiros, e é considerado todo material sólido natural ou residual, de natureza mineral ou orgânica, puro ou misturado devendo proporcionar suporte físico às raízes bem como disponibilizar água e nutrientes para as plantas. A utilização do substrato é preferida na maioria das vezes, devido a maior facilidade de transporte, menor presença de patógenos e sementes de plantas daninhas, salinidade, desequilíbrio entre arejamento e umidade; facilidade de se uniformizar a granulometria do substrato alcançando assim maior produtividade e rentabilidade (Graciolli *et al.*, 2016).

Outros fatores que devem ser muito bem observados são: a qualidade das sementes, recipientes, manejo, a forma e a frequência de aplicação dos fertilizantes (Carneiro, 1991; Lopes, 2005; Rudek; Garcia; Peres, 2013), com estratégias bem definidas e protocolos detalhados para cada espécie que o

viveiro irá trabalhar (Natale *et al.*, 2018; Oliveira *et al.*, 2019; Santos, A. R. M. dos *et al.*, 2021; Xavier; Santos; Oliveira, 2003).

O recipiente é outro fator muito importante e deve ser considerado diversos aspectos, como o tamanho inicial e final da muda, custo de aquisição, durabilidade, facilidade de manuseio e de armazenamento, entre outros. Em geral, o recipiente deverá ser escolhido de forma a proporcionar o maior volume possível de solo às raízes, mas que tenha menor peso possível e seja de fácil manuseio visando englobar as fases da germinação, crescimento até ficarem aptas para comercialização (Graciolli *et al.*, 2016).

A adoção de novas tecnologias também são muito importantes, como é o caso utilização de polímeros de retenção de água, que proporciona a melhoria dos atributos químicos e físicos do substrato e conseqüentemente das mudas, uma vez que aumentam a capacidade hídrica do substrato, a utilização de materiais orgânicos, como por exemplo a casca de arroz carbonizada, a vinhaça, o resíduo de cogumelo e o esterco bovino como visando o incremento das características físicas das mudas (Azevedo *et al.*, 2019; De Sousa *et al.*, 2022; Ge *et al.*, 2012; Navroski *et al.*, 2016), sendo relevante estar atendo as novas tendências tecnológicas, como por exemplo os nanofertilizantes, nanocidas entre outros.

4.3 Nanofertilizantes

Os nanofertilizantes, fazem parte da crescente onda denominada nanotecnologia, que é o estudo, projeto, criação, síntese, manipulação e aplicação de materiais em escala nanométrica, tendo uma ou mais dimensões com tamanhos menores que 100nm. A nanotecnologia surgiu como uma nova e poderosa ferramenta para manipular assuntos em “nano-escala” e permitir a evolução de muitos aspectos, incluindo medicina, biotecnologia, alimentos produtos farmacêuticos, agricultura, cosméticos, proteção ambiental, eletrônica, tecnologia da informação, construção, militar, indústria de energia, entre outros (Gong *et al.*, 2018; Hulla; Sahu; Hayes, 2015; Lee; Moon, 2020).

Na agricultura, os nanofertilizantes estão sendo amplamente utilizadas, e são denominados como qualquer nanomaterial que possibilite o incremento dessa absorção. Eles podem ser aplicados de diferentes formas: na

preparação das sementes, através do embebedimento em solução contendo nanopartículas fertilizadoras, sendo o método mais aconselhado para sementes dormentes (Abdel-Aziz; Hasaneen, 2021; Timilsina; Chen, 2021; Zulfiqar *et al.*, 2019a).

A segunda maneira é no solo, possibilitando duas formas de aplicação, com a mistura de nanopartículas sólidas ou através da adição de nanofertilizantes à água sendo administrado através da irrigação em distintos momentos. E a terceira, por meio de nanoemulsões em spray, sendo mais recomendada para aplicação em estágios iniciais (Abdel-Aziz; Hasaneen, 2021; Bijali; Acharya, 2020; Timilsina; Chen, 2021; Zulfiqar *et al.*, 2019a). São divididos também em nanofertilizantes de macronutrientes, que são os que fornecem os nutrientes que a planta necessita em grandes quantidades, como nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre. E os nanofertilizantes de micronutrientes, que fornecem micronutrientes às plantas, composto por elementos essenciais para o crescimento e metabolismo das plantas mesmo em pequenas doses (Adisa *et al.*, 2019; Ditta; Arshad, 2016; Fiol *et al.*, 2021; Gupta, 2022; Zulfiqar *et al.*, 2019a).

Esses nutrientes, são fornecidos às plantas em uma forma disponível, ou seja, aumenta a absorção de nutrientes fazendo com que haja um respectivo aumento da produção. As características relevantes dos nanofertilizantes são: (1) fornecem os nutrientes adequados para melhorar o crescimento das plantas através de aplicações foliares e no solo (Figura 1), (2) são fontes sustentáveis e de baixo custo de nutrientes para as plantas, (3) têm uma alta eficiência de fertilização, (4) desempenham um papel fundamental na prevenção da poluição.

Ademais, os nanofertilizantes auxiliam na redução da poluição da água e podem ser chamados de novas alternativas de fertilizantes (El-Saadony *et al.*, 2021; Kumaraswamy *et al.*, 2021; Liu; Lal, 2015; Sharma, S. *et al.*, 2020).

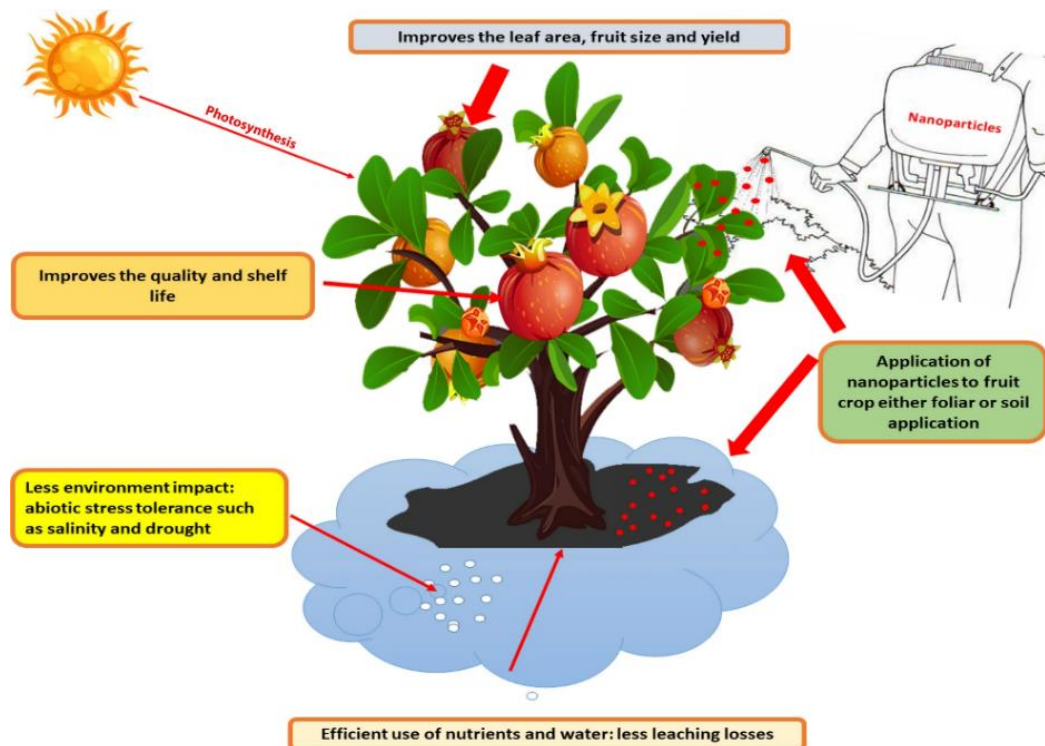


Figura 1. Ilustração da aplicação de nanofertilizantes em diferentes partes da planta. Fonte: (Sharma, S. *et al.*, 2020).

Alguns estudos mostram a eficiência da utilização de nanofertilizantes em diferentes culturas, como Mejias *et al.* (2021), que ao utilizarem nanofertilizante verificaram aumento na eficiência do nitrogênio, já Al-Taey; Almusawi (2019), testando nanofertilizante em hortaliças, verificaram diversos benefícios como aumento da produtividade, aumento do teor de clorofila, maior resposta de rebrota após a colheita.

Em estudo de diferentes doses de nanofertilizantes em casa de vegetação para pepino Merghany *et al.* (2019), obtiveram resultados que demonstraram a melhora do crescimento e da produtividade, aumentando significativamente quando comparado com tratamento controle (sem aplicação de nanofertilizantes). Os autores relatam que todos os tratamentos com nanofertilizante apresentaram aumento da altura, número de folhas, teor de clorofila, produtividade e porcentagem de NPK em folhas e frutos.

Em experimento desenvolvido com cafeeiro, em casa de vegetação, Wang; Nguyen, (2018), testou os efeitos do nanofertilizante Zn/B nas características biofísicas e no crescimento das mudas, através da pulverização nas folhas com cinco doses de 0, 10, 20, 30 e 40 ppm e os resultados apontaram que o nanofertilizante aumentou a absorção de zinco, nitrogênio e

fósforo, o teor de clorofila e a fotossíntese, o crescimento em área foliar, altura da planta e diâmetro do caule.

Nos últimos anos, ficou ainda mais evidente a eficiência dos nanofertilizantes, principalmente devido a aplicação em culturas agrícolas, com valores de produção e crescimento muito acima quando se compara com fertilizantes convencionais, como é o caso da produção de: vagem de quiabo (50%), pêssego com 57%, romã (17%), soja (40%), arroz (13,7%), trigo (20,4%) (Abo El-Hamd; Abd Elwahed, 2018; Davarpanah *et al.*, 2016a; Dimkpa *et al.*, 2018, 2019).

Os resultados obtidos mostram que tanto em diferentes culturas bem como locais de plantio mostram há um grande potencial dos nanofertilizantes, especialmente na produtividade e aumento das características morfológicas das plantas, no entanto em espécies florestais são incipientes trabalhos sobre aplicação desses produtos.

Em se tratando de Arbolin Biogenesis®, alguns trabalhos já foram realizados em diferentes culturas, também agrícolas, e seus resultados mostraram-se satisfatórios. Esse produto surgiu da parceria feita entre a startup Krilltech que desenvolveu o nanofertilizante Arbolin Biogenesis®, resultado de um projeto de investigação multidisciplinar que teve a sua origem em laboratórios da Universidade de Brasília (UnB), contando com parceria da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa).

Arbolin Biogenesis® apresentou aumento da fotossíntese, ativação mais eficaz de enzimas que fornecem energia para planta, maior desenvolvimento de raízes, maior aproveitamento de água e nutrientes, em testes em campo experimental da Embrapa, com as espécies de tomateiro, pimentão e alface hidropônica, obtendo aumento da produtividade cerca de 15 a 20% segundo Rodrigues (2021), fundador e conselheiro tecnológico da startup Krilltech.

Na utilização de diferentes doses de Arbolin Biogenesis®, em morango híbrido (*Fragaria x ananassa Duch*), Burtuille (2021), verificou que a produtividade do tratamento que recebeu a aplicação de Arbolina via substrato foi em média 22% maior do que da aplicação via pulverização foliar. Foi verificado que a aplicação via foliar não alterou a produtividade, já via substrato, a produtividade superior (41%) foi verificada na dose de 155,6 mg L⁻¹, quando comparada ao controle (nenhuma aplicação).

4.4 Adubação no crescimento, estabelecimento e nutrição de mudas em viveiro

Para produção de mudas em viveiro é importante enfatizar que a qualidade do material vegetal, estacas no caso de clones e sementes em mudas seminais são o ponto de partida no desenvolvimento e produção de mudas de qualidade, seja pequena, média ou grande escala. O segundo fator mais importante é o nutricional, visando obter a melhor resposta para o desenvolvimento das mudas, uma vez que geralmente são utilizados substratos pobres em nutrientes (Bernardi *et al.*, 2012; Ceconi *et al.*, 2007b; Rocha *et al.*, 2013b; Santos, F. D. dos *et al.*, 2021).

A eficiência da germinação de sementes e enraizamento de estacas e demais etapas está associado à capacidade de aeração, drenagem, retenção de água e principalmente na disponibilidade de nutrientes (Santos, F. D. dos *et al.*, 2021), logo, os fertilizantes, que são substâncias ou materiais químicos ou naturais usados para fornecer os nutrientes às plantas geralmente através da aplicação no solo, nas folhas e até mesmo pela irrigação (fertirrigação ou hidroponia ou operações de aquicultura) são as principais fontes de nutrientes podendo ser químicos, minerais, orgânicos ou até mesmo reciclados (FAO, 2022).

Entretanto, cabe destacar que existe naturalmente uma lista enorme de elementos químicos, e ao analisar tecidos vegetais é comum encontrar uma gama deles, porém, nem todos podem ser considerados nutrientes, uma vez que as plantas têm habilidades de absorver do solo, substrato, da solução nutritiva e da água elementos químicos disponíveis sem menores restrições (Mello, 2020), podendo ocorrer, em caso de absorção excessiva uma toxidez as plantas (Mascarenhas *et al.*, 2013).

Assim, a adoção de técnicas de fertilização é apontada como fator relevante para aumentar o crescimento e a qualidade de mudas de espécies florestais em viveiro, de modo que os fertilizantes a serem utilizados deverão ser selecionados cuidadosamente para que o crescimento e a qualidade das mudas não sejam prejudicados devido à escassez ou demasia de nutrientes (Cabreira *et al.*, 2017; Luís *et al.*, 2018; Turchetto *et al.*, 2019).

Para plena atividade das plantas, são considerados essenciais 13 elementos inorgânicos sendo eles: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cloro (Cl), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), molibidênio (Mo) e zinco (Zn), esses nutrientes, embora sejam igualmente importantes para as mudas, são classificados de acordo com a proporção em que aparecem na matéria seca dos vegetais, sendo divididos em dois grandes grupos (Mello, 2020).

O primeiro são os macronutrientes, que são absorvidos em maiores quantidades pelas plantas, podendo ainda ser dividido em primários (N, P, K), e secundários (Ca, Mg e S). O segundo grupo são dos micronutrientes, absorvidos em menores quantidades (Fe, Mn, Zn, Cu, B, Cl e Mo) (Mascarenhas *et al.*, 2013; Mello, 2020). No entanto, a divisão entre macro e micronutrientes é basicamente didática, uma vez que a separação quantitativa pode variar de acordo com as espécies.

Os macronutrientes primários possuem como função a formação de proteínas, parte de muitas enzimas e vitaminas atuando em todas as fases (crescimento, floração e frutificação) (N), na respiração, produção de energia, divisão celular (P) e elaboração de açúcares e amido, aumenta a rigidez dos tecidos e a resistência das plantas às pragas e doenças, favorecendo o crescimento do sistema radicular (K). Já os secundários contribuem para o fortalecimento de todos os órgãos da planta e manutenção do equilíbrio entre acidez e alcalinidade (Ca), metabolismo energético (Mg) e formação de alguns aminoácidos essenciais ao metabolismo energético, intervindo na síntese de compostos orgânicos, como vitaminas e enzimas (S) (Barros, 2020; Mello, 2020).

Os micronutrientes possuem como função a formação da clorofila, absorção do azoto e diversos processos enzimáticos (Fe), redução de nitratos, respiração, catalisação e formação do ácido ascórbico (Vitamina C) (Mn), crescimento das plantas através da formação do ácido indol acético (AIA) (Zn), ativação de enzimas dentro da planta, sendo essencial em processos de oxidação e redução (Cu), na multiplicação das células, formação das raízes, germinação dos grãos de pólen, flores e frutos, auxilia também no movimento da seiva e na absorção dos cátions (B), na fotossíntese, participando na

fotólise da água (Cl) e na bioquímica da absorção e no transporte e fixação de azoto (Mo) (Barros, 2020; Mello, 2020).

Em relação a exigência nutricional, admite-se que a obtenção de nutrientes pela planta não ocorre de forma constante ao longo de seu ciclo, e é caracterizada pela fase inicial, em que há baixo crescimento e pouca absorção, passando para uma fase em que o crescimento e a absorção são mais acelerados, e a fase final, com a estabilização (Barros, 2020). Deste modo o déficit ou abundância de determinado elemento (Taiz; Zeiger, 2009), as doses a serem aplicados (Mendonça *et al.*, 2007), as características e o tempo de intervalo para aplicação do fertilizante irão fazer a diferença na obtenção de mudas de qualidade.

Atualmente, os fertilizantes mais utilizados em viveiro são os de liberação controlada, pois facilitam o manejo (Aimi *et al.*, 2016; Antunes *et al.*, 2019; Duboc *et al.*, 2018; Gasparin *et al.*, 2017), e são muito utilizados principalmente na adubação de plantas cultivadas em tubetes, uma vez que esses recipientes possuem maior lixiviação de nutrientes (José; Davide; Oliveira, 2009; Yamamoto *et al.*, 2016), no entanto o caminho mais provável será a migração dos fertilizantes “normais” para os nanofertilizantes em viveiro, algo que já vem acontecendo com a agricultura em nível mundial.

Atualmente, foi criado pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura criado (FAO) o “Código Internacional de Conduta para o Uso e Manejo Sustentável de Fertilizantes”, em que os governos deverão promover práticas agrícolas sustentáveis, tecnologias e gestão para melhorar as técnicas de fertilização e a gestão de nutrientes como um todo, sendo promovidas diversas práticas de uso e o desenvolvimento de novas tecnologias (FAO, 2022).

5. REFERÊNCIAS

ABDEL-AZIZ, H. M. M.; HASANEEN, M. N. A. Nanotechnology as a Smart Way to Promote the Growth of Plants and Control Plant Diseases. **Nanotechnology in Plant Growth Promotion and Protection**, p. 1–16, 2021.

ABDULHAMEED, M. F.; TAHA, A. A.; ISMAIL, R. A. Improvement of cabbage growth and yield by nanofertilizers and nanoparticles. **Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management**, v. 15, p. 100437, 2021.

ABO EL-HAMD, A. S. A.; ABD ELWAHED, A. H. M. Improving the growth and yield of okra plants (*Abelmoschus esculentus* L.) using Lithovit fertilizer. **Academia Journal of Agricultural Research**, v. 6, n. 5 Conference Proceedings, p. 65–71, 2018.

ADISA, I. O. *et al.* Recent advances in nano-enabled fertilizers and pesticides: a critical review of mechanisms of action. **Environmental Science: Nano**, v. 6, n. 7, p. 2002–2030, 2019.

AFONSO, A. *et al.* Respostas nutricionais de mudas de sumaúma à adubação nitrogenada, fosfatada e potássica. **Científica**, v. 44, n. 3, p. 421–430, 2016.

AGUIAR, F. F. A. *et al.* Crescimento de mudas de pau-brasil (*Caesalpinia echinata* Lam.), submetidas a cinco níveis de sombreamento. **Revista Ceres**, v. 58, n. 6, p. 729–734, 2011.

AHMAD, F. *et al.* Influence of silicon nano-particles on *Avena sativa* L. to alleviate the biotic stress of *Rhizoctonia solani*. **Scientific Reports**, v. 13, n. 1, 2023.

AIMI, S. C. *et al.* Volumen de contenedores y dosis de fertilizante de liberación controlada en el crecimiento de plantas de *Cabralea canjerana* producidas en vivero. **Bosque (Valdivia)**, v. 37, n. 2, p. 401–407, 2016.

AIN, Q. *et al.* Use of nano-fertilizers to improve the nutrient use efficiencies in plants. **Sustainable Plant Nutrition**, p. 299–321, 2023.

AJDARY, R. *et al.* Plant Nanomaterials and Inspiration from Nature: Water Interactions and Hierarchically Structured Hydrogels. **Advanced Materials**, v. 33, n. 28, p. 2001085, 2021.

AJIRLOO, A. R.; SHAABAN, M.; MOTLAGH, Z. R. Effect of K Nano-Fertilizer and N Bio-Fertilizer on Yield and Yield Components of Tomato (*Lycopersicon Esculentum* L.). **Int. J. Adv. Biol. Biom. Res**, v. 3, n. 1, p. 138–143, 2015.

AKCURA, M. *et al.* Fatty acid and some micro element compositions of cluster bean (*Cyamopsis tetragonoloba*) genotype seeds growing under Mediterranean climate. **Industrial Crops and Products**, v. 128, p. 140–146, 2019.

AKPO, E. *et al.* Effects of nursery management practices on morphological quality attributes of tree seedlings at planting: The case of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). **Forest Ecology and Management**, v. 324, p. 28–36, 2014.

ALIYU, A. *et al.* Phytochemical analyses and mineral elements composition of some medicinal plants of Northern Nigeria. **Journal of Pharmaceutical Sciences**, [s.l.], 2008.

ALLISON, L. E. Wet-Combustion Apparatus and Procedure for Organic and Inorganic Carbon in Soil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 24, n. 1, p. 36–40, 1960.

AL-MAMUN, M. R. *et al.* Nanofertilizers towards sustainable agriculture and environment. **Environmental Technology & Innovation**, v. 23, p. 101658, 2021.

ALMEIDA, S. P. de *et al.* **Cerrado: espécies vegetais úteis**. 1. ed. Planaltina: Embrapa, 1998.

AL-TAEY, D. K.; ALMUSAWI, Z. J. Effect of nano-fertilizers, salicylic acid, and organic matter in growth and yield of rocket (*Eruca sativa* Mill) under Salt stress. **International Journal of Botany Studies**, v. 4, n. 3, p. 77–81, 2019.

PASQUETTI, A. L. B. *et al.* African Journal of Agricultural Research Growth of *Cordia trichotoma* seedlings in different sizes of recipients and doses of fertilizer. , v. 11, n. 28, p. 2450–2455, 2016.

ALVES, M. de S. *et al.* CRESCIMENTO E MARCHA DE ABSORÇÃO DE NUTRIENTES EM MUDAS DE KHAYA IVORENSIS. **Acta Iguazu**, v. 5, n. 4, p. 95–110, 2016.

ALVES DE OLIVEIRA, D. *et al.* Alocação de biomassa em plantas de bambu em resposta a adubação mineral. **Scientia agraria, ISSN-e 1983-2443, Vol. 9, Nº. 2, 2008, págs. 139-146**, v. 9, n. 2, p. 139–146, 2008.

AMRI, E. *et al.* Vegetative propagation of African Blackwood (*Dalbergia melanoxylon* Guill. & Perr.): Effects of age of donor plant, IBA treatment and cutting position on rooting ability of stem cuttings. **New Forests**, v. 39, n. 2, p. 183–194, 2010.

ANDRÉ, J. L. *et al.* Wood Volume of *Eucalyptus* Clones Established Under Different Spacings in the Brazilian Cerrado. **Forest Science**, v. 67, n. 4, p. 478–489, 2021.

ANGGALIH, N. N. Innovation Strategy of Cosmetic Packaging Design Made of Bamboo. **Proceedings of the International Joint Conference on Arts and Humanities 2021 (IJCAH 2021)**, v. 618, p. 46–50, 2021.

ANTUNES, A. M. *et al.* Influência do fertilizante de liberação controlada no desenvolvimento de mudas de maracujazeiro-amarelo em diferentes substratos. **Revista AgroFIB**, v. 1, n. 1, 2019.

ANUNCIATO, V. M. *et al.* Bambu: Versatilidade para quem sabe lucrar. **Revista Campo & Negócios**,2020.

APHA –AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for examination of water and wastewater**. 19. ed. Washinton: American Public Health Association, 1995.

ARRIVABENE, H. P. *et al.* Effect of pollution by particulate iron on the morphoanatomy, histochemistry, and bioaccumulation of three mangrove plant species in Brazil. **Chemosphere**,v. 127, p. 27–34, 2015.

AUGUSTO, M. *et al.* Doses de Adubo Nitrogenado nas Características Morfofisiológicas de Mudanças de Mogno Brasileiro. **Ensaio e Ciência C Biológicas Agrárias e da Saúde**,v. 27, n. 1, p. 79–86, 2023.

AVELINO, N. R. *et al.* Alocação de biomassa e indicadores de crescimento para a avaliação da qualidade de mudas de espécies florestais nativas. **Ciência Florestal**,v. 31, n. 4, p. 1733–1750, 2022.

AVESTAN, S.; NASERI, L.; NAJAFZADEH, R. Improvement of In vitro Proliferation of Apple (*Malus domestica* Borkh.) by Enriched Nano Chelated Iron Fertilizer. **International Journal of Horticultural Science and Technology**,v. 5, n. 1, p. 43–51, 2018.

AZEEZ, L. *et al.* Responses of Moringa oleifera to alteration in soil properties induced by calcium nanoparticles (CaNPs) on mineral absorption, physiological indices and photosynthetic indicators. **Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences**,v. 10, n. 1, 2021.

AZEVEDO, G. T. de O. S. *et al.* Influence of fertilizer and hydrogel on physical-chemical attributes of substrate for seedling production. **Bioscience Journal**,v. 35, n. 5, p. 1399–1407, 2019.

AZEVEDO, G. T. O. S. **Produção de mudas nativas do Cerrado com hidrogel incorporado ao substrato**. 2018. 1–83 f. Tese de doutorado em Ciências Florestais - Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

AZZINI, A.; SALGADO, A. L. de B. Enraizamento de propágulos de bambu em diferentes substratos. **Bragantia**, v. 52, n. 2, p. 113–118, 1993.

BADRAN, A.; SAVIN, I. Effect of Nano-Fertilizer on Seed Germination and First Stages of Bitter Almond Seedlings' Growth Under Saline Conditions. **BioNanoScience**,v. 8, n. 3, p. 742–751, 2018.

BARAKAT, M.; CHEVIRON, B.; ANGULO-JARAMILLO, R. Influence of the irrigation technique and strategies on the nitrogen cycle and budget: A review. **Agricultural Water Management**, v. 178, p. 225–238, 2016.

BARKER, N. P. *et al.* Phylogeny and subfamilial classification of the grasses (Poaceae). **Annals of the Missouri Botanical Garden**, v. 88, n. 3, p. 373–457, 2001.

BARROS, J. **Fertilidade do solo e nutrição das plantas**. 1. ed., 2020.

BARROSO, G. L. de F. *et al.* Erva-mate, muito mais que uma tradição, um verdadeiro potencial terapêutico. **Revista Eletrônica de Farmácia**, v. 8, n. 3, p. 13–13, 2011.

BASAVEGOWDA, N.; BAEK, K. H. Current and future perspectives on the use of nanofertilizers for sustainable agriculture: the case of phosphorus nanofertilizer. **3 Biotech** **2021** **11:7**, v. 11, n. 7, p. 1–21, 2021.

BASIT, F. *et al.* Facile synthesis of nanomaterials as nanofertilizers: a novel way for sustainable crop production. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 29, n. 34, p. 51281–51297, 2022.

BATAGLIA, O. C. *et al.* **Métodos de análise química de planta**. Campinas: [s. n.], 1983.

BELLINI, C.; PACURAR, D. I.; PERRONE, I. Adventitious Roots and Lateral Roots: Similarities and Differences. **Annurev-arplant-050213-035645**, v. 65, p. 639–666, 2014.

BENEDETTI, E. L. *et al.* Adubação orgânica estimula o crescimento de erva-mate e araucária a campo. **Revista Técnico-Científica do IFSC**, v. 2, n. 9, p. 4–10, 2019.

BERGER, G. **Biomassa e nutrientes em plantios de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St. Hil.), no município de Nova Prata, RS**. 2006. 1–93 f. Dissertação - UFSM, Santa Maria, 2006.

BERNARDI, M. R. *et al.* Crescimento de mudas de *Corymbia citriodora* em função do uso de hidrogel e adubação. **CERNE**, v. 18, n. 1, p. 67–74, 2012.

BHERING, L. L. Rbio: A tool for biometric and statistical analysis using the R platform. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 17, n. 2, p. 187–190, 2017.

BIJALI, J.; ACHARYA, K. Current trends in nano-technological interventions on plant growth and development: A review. **IET Nanobiotechnology**, v. 14, n. 2, p. 113–119, 2020.

BINOTTO, A. F. **Relação entre variáveis de crescimento e o índice de qualidade de Dickson em mudas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maid e *Pinus elliottii* var. *elliottii* – Engelm.** 2007. 1–54 f. Dissertação - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

BINOTTO, A. F.; DAL' COL LÚCIO, A.; LOPES, S. J. Correlations between growth variables and the Dickson quality index in forest seedlings. **CERNE**, v. 16, n. 4, p. 457–464, 2010.

BITENCOURT, G. de A. *et al.* Aproveitamento do efluente de curtumeira na produção de mudas de *Eucalyptus urograndis*. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 9, n. 21, p. 121–130, 2022.

BITENCOURT, G. de A.; DEKNES, L. B.; LAURA, V. A. Crescimento de mudas de eucalipto em solo com aplicação do lodo de curtume. **Scientia Plena**, v. 18, n. 3, 2022.

BÖHM, W. *Methods of Studying Root Systems*. Berlin, Heidelberg, v. 33, **Ecological Studies**, 1979.

BOURSCHEIDT, M. L. B. *et al.* Estratégias de fornecimento de nitrogênio em pastagens: fertilizante mineral, inoculante bacteriano e consórcio com amendoim forrageiro. **Scientific Electronic Archives**, v. 12, n. 3, 2019.

BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C. M. Regulação da absorção e assimilação do nitrogênio nas plantas. **Ciência Rural**, v. 30, n. 2, p. 365–372, 2000.

BUTRUILLE, N. M. D. S. **Influência do método de aplicação e concentrações de Arbolina na produtividade, fisiologia e qualidade de frutos de morangueiro**. 2021. 1–76 f. Dissertação de Mestrado Brasília, 2021.

CABREIRA, G. V. *et al.* Biossólido como componente de substrato para produção de mudas florestais. **Floresta**, v. 47, n. 2, p. 165–176, 2017.

CARDOSO, M. R. D.; MARCUZZO, F. F. N.; BARROS, J. R. Classificação Climática de Köppen-Geiger para o Estado de Goiás e o Distrito Federal. **Acta geográfica**, v. 8, n. 16, p. 40–55, 2014.

CARDOZO, A. G. L. *et al.* Yerba mate (*Ilex paraguariensis* A. St. – hil.): a comprehensive review on chemical composition, health benefits and recent advances. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 11, p. e590101120036–e590101120036, 2021.

CARNEIRO, J. G. A. **Produção e controle de qualidade de mudas florestais**. Curitiba: 1991.

CARVALHO, L. C. do C. S. *et al.* Aproveitamento de lodo de esgoto urbano como substrato para produção de mudas de cedro australiano (*Toona ciliata*) e aroeira pimenteira (*Schinus terebinthifolius*). **Scientia Plena**, v. 18, n. 10, p. 1–9, 2022.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies Arbóreas Brasileiras**. Colombo: Embrapa, 2003.

CASTRO, C. A. de O. *et al.* Brief history of *Eucalyptus* breeding in Brazil under perspective of biometric advances. **Ciência Rural**, v. 46, n. 9, p. 1585–1593, 2016.

CECONI, D. E. *et al.* exigência nutricional de mudas de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.) à adubação fosfatada. **Ciência Florestal**, v. 17, n. 1, p. 25–32, 2007.

CHATTERJEE, C.; GOPAL, R.; DUBE, B. K. Impact of iron stress on biomass, yield, metabolism and quality of potato (*Solanum tuberosum* L.). **Scientia Horticulturae**, v. 108, n. 1, p. 1–6, 2006.

CHECHI, L. A. *et al.* Ativos territoriais e desenvolvimento. **Revista Estratégia e Desenvolvimento**, v. 1, n. 1, 2017.

CHEN, Y.; MAGEN, H.; CLAPP, C. E. Mechanisms of plant growth stimulation by humic substances: The role of organo-iron complexes. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 50, n. 7, p. 1089–1095, 2004.

CHERBUY, B. *et al.* Internal remobilization of carbohydrates, lipids, nitrogen and phosphorus in the Mediterranean evergreen oak *Quercus ilex*. **Tree Physiology**, v. 21, n. 1, p. 9–17, 2001.

CHIAREGATO, C. G.; SOUZA, C. F.; FAEZ, R. The fertilizer release into water and soil as the biodegradation process in the sustainable material enhancing the fertilizer efficiency. **Environmental Technology & Innovation**, v. 22, p. 101417, 2021.

CHOI, M.-H.; *et al.* Bamboo lignin fractions with in vitro tyrosinase inhibition activity downregulate melanogenesis in b16f10 cells via PKA/CREB signaling pathway. **International Journal of Molecular Sciences 2022, Vol. 23, Page 7462**, v. 23, n. 13, p. 7462, 2022.

CLARK, L. G.; ZHANG WEIPING; WENDEL, J. F. A phylogeny of the grass family (Poaceae) based on ndhF sequence data. **Systematic Botany**, v. 20, n. 4, p. 436–460, 1995.

CLAYTON, W.; RENVOIZE, S. Genera graminum: grasses of the world. **Kew Bull Addit Ser**, v. 13, 1986.

COSTA, C. C.; ALMEIDA, L. E.; CASTRO, V. R. de. Evaluation of the morphological parameters of native species of the Atlantic Forest in biodegradable tubes. **Revista Ambientale**, v. 12, n. 4, p. 44–54, 2020.

COSTA, C. C.; ALMEIDA, L. E.; CASTRO, V. R. de. Produção de mudas de jenipapo (*Genipa americana* L.) em tubetes biodegradáveis. **Revista Ambientale**, v. 15, n. 2, p. 23–31, 2023.

DA ROSA, L. S. *et al.* Efeito da dose de nitrogênio e de formulações de substratos na miniestaqueira de *Eucalyptus dunnii* maiden. **Revista Árvore**, v. 33, n. 6, p. 1025–1035, 2009.

DA SILVA, E. A. *et al.* Efeitos da rochagem e de resíduos orgânicos sobre aspectos químicos e microbiológicos de um subsolo exposto e sobre o crescimento de *Astronium fraxinifolium* Schott. **Revista Árvore**, v. 32, n. 2, p. 323–333, 2008.

DA SILVA ARAÚJO, M. *et al.* Development and nutrition of African mahogany seedlings in response to nitrogen and phosphorus fertilization. **Scientia Forestalis**, v. 48, n. 125, p. 1–12, 2020.

DANIELS, T. L. Integrating Forest carbon sequestration into a cap-and-trade program to reduce net CO₂ emissions. **Journal of the American Planning Association**, v. 76, n. 4, p. 463–475, 2010.

DANTAS, R. de P. *et al.* Qualidade de mudas de *Tabebuia aurea* (Manso) Benth. & Camp; Hook. em dois ambientes e diferentes níveis de fertirrigação. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 3, p. 1253–1262, 2018.

DAVARPANA, S. *et al.* Effects of foliar applications of zinc and boron nano-fertilizers on pomegranate (*Punica granatum* cv. Ardestani) fruit yield and quality. **Scientia Horticulturae**, v. 210, p. 57–64, 2016.

DE FREITAS, T. A. S.; BARROSO, D. G.; CARNEIRO, J. G. D. A. dinâmica de raízes de espécies arbóreas: visão da literatura. **Ciência Florestal**, v. 18, n. 1, p. 133–142, 2008.

DE MELLO CUNHA, A. *et al.* Efeito de diferentes substratos sobre o desenvolvimento de mudas de *Acacia* sp. **Revista Árvore**, v. 30, n. 2, p. 207–214, 2006.

DE MELO, L. A. *et al.* Qualidade e crescimento inicial de mudas de *Mimosa Caesalpinifolia* Benth. produzidas em diferentes volumes de recipientes. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 1, p. 47–55, 2018.

DE OLIVEIRA GARCIA, G. *et al.* Crescimento de mudas de eucalipto submetidas à aplicação de biossólidos. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 1, p. 87–94, 2010.

DE OLIVEIRA, S. V.; WAQUIL, P. D. Dynamics of production and commercialization of yerba mate in Rio Grande do Sul, Brazil. **Ciência Rural**, v. 45, n. 4, p. 750–756, 2014.

DE SOUSA, J. R. L. *et al.* Early evaluation of genetic parameters in clonal propagation of bamboo species. **Australian Journal of Crop Science**, v. 16, n. 03, p. 324–328, 2022.

DE SOUZA, N. H. *et al.* Estudo nutricional da canafístula (I): crescimento e qualidade de mudas em resposta à adubação com nitrogênio e fósforo. **Revista Árvore**, v. 37, n. 4, p. 717–724, 2013.

DENG, W. *et al.* Heml: A toolkit for illustrating heatmaps. **PLoS ONE**, v. 9, n. 11, 2014.

DEROSA, M. C.; AL., et. Nanotechnology in fertilizers. **Nat. Nanotechnol.**, v. 5, p. 91, 2010. Disponível em: Acesso em: 15 ago. 2022.

DIAS, P. C. *et al.* Estaquia e miniestaquia de espécies florestais lenhosas do Brasil. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, n. 72, p. 453–462, 2012.

DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. v. 36, n. 1, p. 10–13, 1960.

DIMKPA, C. O. *et al.* Addition-omission of zinc, copper, and boron nano and bulk oxide particles demonstrate element and size -specific response of soybean to micronutrients exposure. **Science of The Total Environment**, v. 665, p. 606–616, 2019.

DIMKPA, C. O. *et al.* Effects of manganese nanoparticle exposure on nutrient acquisition in wheat (*Triticum aestivum* L.). **Agronomy** 2018, v. 8, n. 9, p. 158, 2018.

DING, W. *et al.* Effects of nitrogen deposition on growth and relationship of Robinia pseudoacacia and *Quercus acutissima* seedlings. **Dendrobiology**, v. 67, p. 3–13, 2012.

DITTA, A.; ARSHAD, M. Applications, and perspectives of using nanomaterials for sustainable plant nutrition. **Nanotechnology Reviews**, v. 5, n. 2, p. 209–229, 2016.

DONG, S. *et al.* Introduction of bio-based hard segment as an alternative strategy to environmentally friendly polyurethane coated urea. **Industrial Crops and Products**, v. 203, 2023.

DOS SANTOS, S. M. S. *et al.* Modulation of the initial growth of *Eucalyptus* clones using paclobutrazol: when smaller is better. **Australian Journal of Crop Science**, v. 12, n. 04, p. 610–616, 2018.

DOS SANTOS, J. A. *et al.* Morphophysiological changes by mepiquat chloride application in *Eucalyptus* clones. **Trees - Structure and Function**, v. 35, n. 1, p. 189–198, 2021.

DRUEGE, U. *et al.* Molecular and physiological control of adventitious rooting in cuttings: phytohormone action meets resource allocation. **Annals of Botany**, v. 123, n. 6, p. 929–949, 2019.

DU, J. *et al.* Silica nanoparticles protect rice against biotic and abiotic stresses. **Journal of Nanobiotechnology**, v. 20, n. 1, 2022.

DUARTE, M. M. *et al.* Adubação nitrogenada na ministaquia de erva-mate. **Advances in Forestry Science**, v. 7, n. 2, p. 981–988, 2020.

DUBOC, E. **Erva-Mate: Parâmetros para Seleção de Planta Matriz e Área de Coleta de Sementes**. Dourados: [s. n.], 2015.

DUBOC, E. *et al.* Substrato orgânico e adubação com fertilizante de liberação controlada na produção de mudas de cedro-rosa (*Cedrela fissilis*). **Cadernos de Agroecologia**, v. 13, n. 2, p. 10–10, 2018.

DUHAN, J. S. *et al.* Nanotechnology: The new perspective in precision agriculture. **Biotechnology Reports**, v. 15, p. 11–23, 2017.

DURYEA, M. L. Nursery Cultural Practices: Impacts on Seedling Quality. p. 143–164, 1984.

DUTRA, T. R. *et al.* Crescimento inicial e qualidade de mudas de caviúna-do-cerrado e caroba-do-campo em resposta à adubação nitrogenada. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 11, n. 3, p. 52–61, 2015.

DUTRA, T. R. *et al.* Fertilizante de liberação lenta no crescimento e qualidade de mudas de canafístula (*Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub.). **FLORESTA**, v. 46, n. 4, p. 491–498, 2017.

EKINCI, M. *et al.* Effects of nanotechnology liquid fertilizers on the plant growth and yield of cucumber (*Cucumis sativus* L.). **Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus**, v. 13, n. 3, p. 135–141, 2014.

EL-BIALY, S. M. *et al.* Biological nanofertilizers to enhance growth potential of strawberry seedlings by boosting photosynthetic pigments, plant enzymatic antioxidants, and nutritional status. **Plants** **2023**, v. 12, n. 2, p. 302, 2023.

ELEMIKE, E. E. *et al.* Synthesis of nanostructured ZnO, AgZnO and the composites with reduced graphene oxide (rGO-AgZnO) using leaf extract of *Stigmaphyllon ovatum*. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 7, n. 3, p. 103190, 2019.

EL-SAADONY, M. T. *et al.* Vital roles of sustainable nano-fertilizers in improving plant quality and quantity-an updated review. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 28, n. 12, p. 7349–7359, 2021.

ELSHEERY, N. I. *et al.* Zinc oxide and silicone nanoparticles to improve the resistance mechanism and annual productivity of salt-stressed mango trees. **Agronomy**, v. 10, n. 4, 2020.

EL-SHETEHY, M. *et al.* Silica nanoparticles enhance disease resistance in Arabidopsis plants. **Nature Nanotechnology**, v. 16, n. 3, p. 344–353, 2021.

EMBAYE, K. *et al.* Biomass and nutrient distribution in a highland bamboo forest in southwest Ethiopia: implications for management. **Forest Ecology and Management**, v. 204, n. 2–3, p. 159–169, 2005.

ERNANI, P. R.; SANGOI, L.; RAMPAZZO, C. Lixiviação e imobilização de nitrogênio num nitossolo como variáveis da forma de aplicação da uréia e da palha de aveia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 4, p. 993–1000, 2002.

FACHINELLO, J. C.; LUCCHESI, A. A.; GUTIERREZ, L. E. Influência do anelamento na nutrição e no enraizamento de estacas lenhosas do porta-enxerto “Malling-Merton 106”. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 23, n. 9, p. 1025–1031, 1988.

FANTINEL, V. S. *et al.* Detecção de fungos e transmissão de alternaria alternata via sementes de ipê-amarelo, *Handroanthus chrysotrichus* (Mart. Ex DC) Mattos. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 7, n. 2, p. 05–14, 2014.

FAO. **Soil fertility**. 2022.

FAO. **World Food and Agriculture – Statistical Yearbook 2021**. Roma: FAO, 2021.

FERNANDES, M. do C. O. da C. *et al.* Crescimento e qualidade de mudas de *Citharexylum myrianthum* em resposta à fertilização nitrogenada. **Advances in Forestry Science**, v. 6, n. 1, p. 507–513, 2019.

FERREIRA, E. M. *et al.* Determinação do tempo ótimo do enraizamento de miniestacas de clones de *Eucalyptus* spp. **Revista Árvore**, v. 28, n. 2, p. 183–187, 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/j/rarv/a/dJTQWqrCLmpxJ9bcrLhc8vt/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 17 ago. 2022.

FERREIRA, D. F. **Sisvar: a guide for its bootstrap sisvar: a guide for its bootstrap procedures in multiple comparisons**, 2014.

FILGUEIRAS, T. S.; VIANA, P. L. **Bambus no Brasil**, 2017.

FINCHEIRA, P. *et al.* Nanotechnology advances for sustainable agriculture: current knowledge and prospects in plant growth modulation and nutrition. **Planta**, v. 254, n. 4, 2021.

FIOL, D. F. *et al.* Nanotechnology in plants: recent advances and challenges. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, v. 96, n. 8, p. 2095–2108, 2021.

FLEIG, F. D.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. influência do espaçamento e idade da brotação na morfometria de povoamentos de *Ilex paraguariensis* St. Hill. **Ciência Florestal**, v. 13, n. 1, p. 73–88, 2003.

FONSECA, É. de P. *et al.* Padrão de qualidade de mudas de *Trema micrantha* (L.) Blume, produzidas sob diferentes períodos de sombreamento. **Revista Árvore**, v. 26, n. 4, p. 515–523, 2002.

FONSECA, karina F. da. **Produção de mudas de bambu *Guadua angustifolia* Kunth, (Poaceae) por propagação vegetativa**. 2007. 58 f. Mestrado - Mestrado (Curso de Pós-graduação em Agronomia) Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, Alagoas, 2007.

FREIBERGER, M. B. *et al.* Crescimento inicial e nutrição de cedro (*Cedrela fissilis* Vell.) em função de doses de nitrogênio. **Revista Árvore**, v. 37, n. 3, p. 385–392, 2013.

FUDANO, T. *et al.* Utilization of Bamboo Powder as a Substrate for Horticultural Production. **Journal of the Japanese Society of Agricultural Technology Management**, v. 23, n. 2, p. 49–60, 2016.

GABIRA, M. M. *et al.* Industrial residues as substrate components for the production of *Ilex paraguariensis* seedlings. **Comunicata Scientiae**, v. 11, p. e3215–e3215, 2020.

GAIAD, S.; RAKOCEVIC, M.; REISSMANN, C. B. Sulfato de amônio como fonte de nitrogênio na adubação de mudas de erva-mate (*Ilex paraguariensis*

St. Hil.). *In*: IN: Congresso sul-americano da erva-mate, Epagri. Chapecó: [s. n.], 2003. p. 5–16.

GALARÇA, S. P. *et al.* Correlação de pearson e análise de trilha identificando variáveis para caracterizar porta-enxerto de *Pyrus communis* L. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 4, p. 860–869, 2010.

GASPARIN, E. *et al.* Influência do substrato e do volume de recipiente na qualidade das mudas de *Cabralea canjerana* (Vell.) Mart. em viveiro e no campo. **Ciência Florestal**, v. 24, p. 553–563, 2014.

GASPARIN, E. *et al.* Supervivencia y crecimiento inicial de *Parapiptadenia rigida* en campo. **Floresta**, v. 47, n. 4, p. 533–541, 2017.

GE, M. *et al.* Screening for formulas of complex substrates for seedling cultivation of tomato and marrow squash. **Procedia Environmental Sciences**, v. 16, p. 606–615, 2012.

GENTRY, A. H. **Bignoniaceae: part II (Tribe Tecomeae)**, *In*: **Flora Neotropica**. New York: [s. n.], 1992.

GHIMIRE, B. K. *et al.* Biochemical and Physiological Changes during Early Adventitious Root Formation in *Chrysanthemum indicum* Linné Cuttings. **Plants**, v. 11, n. 11, p. 1440, 2022.

GOMES, D. G. *et al.* Advances in nano-based delivery systems of micronutrients for a greener agriculture. **Advances in Nano-Fertilizers and Nano-Pesticides in Agriculture: A Smart Delivery System for Crop Improvement**, p. 111–143, 2021.

GOMES, S. H. M. *et al.* Avaliação dos parâmetros morfológicos da qualidade de mudas de *Paubrasilia echinata* (pau-brasil) em viveiro florestal. **Scientia Plena**, v. 15, n. 1, 2019.

GOMES, J. M. *et al.* Parâmetros morfológicos na avaliação de qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v. 26, n. 6, p. 655–664, 2002.

GONG, X. *et al.* Remediation of contaminated soils by biotechnology with nanomaterials: bio-behavior, applications, and perspectives. **Critical Reviews in Biotechnology**, v. 38, n. 3, p. 455–468, 2018.

GOULART, L. M. L. *et al.* Produção de Mudas de Ipê-amarelo (*Tabebuia serratifolia*) em Resposta a Fertilização Nitrogenada. **Floresta e Ambiente**, v. 24, p. 1–9, 2017.

GRACIOLLI, T. *et al.* **Manual de viveiro e produção de mudas: espécies arbóreas nativas do Cerrado**. 2016.

GREIPSSON, S.; CROWDER, A. A. Amelioration of copper and nickel toxicity by iron plaque on roots of rice (*Oryza sativa*). **Canadian Journal of Botany**, v. 70, n. 4, p. 824–830, 1992.

GREWAL, S.; GOEL, S.; ARYA, A. Impact and current perspectives of NPs on soil nutrients. **The Impact of Nanoparticles on Agriculture and Soil**, p. 129–138, 2023.

GU, Y. *et al.* Alginate-chitosan coated nanoliposomes as effective delivery systems for bamboo leaf flavonoids: characterization, in vitro release, skin permeation and anti-senescence activity. **Antioxidants** **2022**, v. 11, n. 5, p. 1024, 2022.

GUHA, T. *et al.* Fe₃O₄-urea nanocomposites as a novel nitrogen fertilizer for improving nutrient utilization efficiency and reducing environmental pollution. **Environmental Pollution**, v. 292, p. 118301, 2022.

GULERIA, G. *et al.* Nanotechnology for sustainable agro-food systems: The need and role of nanoparticles in protecting plants and improving crop productivity. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 194, p. 533–549, 2023.

GUO, C. *et al.* Application of controlled-release urea in rice: reducing environmental risk while increasing grain yield and improving nitrogen use efficiency. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 47, n. 9, p. 1176–1183, 2016.

GUO, H. *et al.* Nano-enabled fertilizers to control the release and use efficiency of nutrients. **Current Opinion in Environmental Science and Health**, v. 6, p. 77–83, 2018.

GUPTA, R. Mineralization of soil carbon, nitrogen, and phosphorus and role of nanofertilizers in soil fertility and plant growth. **Structure and Functions of Pedosphere**, p. 393–409, 2022.

HAGAGG, L. *et al.* Effect of spraying nano-NPK on growth performance and nutrients status for (Kalamat cv.) olive seedling. **Bioscience Research**, v. 15, n. 2, p. 1297–1303, 2018.

HAGAGG, L. F.; EL-HADY, E. S. Impact of nanotechnology application on decreasing used rate of mineral fertilizers and improving vegetative growth of Aggizi olive seedlings. **Bioscience Research**, v. 15, n. 2, p. 1304–1311, 2018.

HAIDER, M. U. *et al.* Zinc nutrition for improving the productivity and grain biofortification of mungbean. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 20, n. 3, p. 1321–1335, 2020.

HAISSIG, B. E. Metabolic processes in adventitious rooting of cuttings. **New Root Formation in Plants and Cuttings**, p. 141–189, 1986.

HARIDASAN, M. Nutrição mineral de plantas nativas do cerrado. *In: Tópicos atuais em botânica*, 2000. v. 24, p. 15–26.

HARTMANN, H. T. *et al.* **Plant propagation principles and practices**. 7. ed. New Jersey: Prentice-Hall, 2002.

HARTMANN, H. *et al.* **Plant Propagation: Principles and Practices**. 9. ed. [S. l.: s. n.], 2017.

HAYDAR, M. S.; GHOSH, D.; ROY, S. Slow and controlled release nanofertilizers as an efficient tool for sustainable agriculture: Recent understanding and concerns. **Plant Nano Biology**, v. 7, p. 100058, 2024.

HAYYAWI, W. A. A.; QUSAY, M. N. A.-S. Impact of fertigation of nano NPK fertilizers, nutrient use efficiency and distribution in soil of potato (*Solanum tuberosum* L.). **Plant Arch.**, v. 19, n. 1, p. 1087–1096, 2019.

HOANG, A. S. *et al.* Evaluation of metal nano-particles as growth promoters and fungi inhibitors for cereal crops. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, v. 9, n. 1, 2022.

HOFMANN, T. *et al.* Technology readiness and overcoming barriers to sustainably implement nanotechnology-enabled plant agriculture. **Nature Food** **2020 1:7**, v. 1, n. 7, p. 416–425, 2020.

HULLA, J. E.; SAHU, S. C.; HAYES, A. W. Nanotechnology: History and future. **Human and Experimental Toxicology**, v. 34, n. 12, p. 1318–1321, 2015.

HUO, X. *et al.* Increased survival rate of *Quercus aliena* var. *Acuteserrata* seedlings via nitrogen addition for the succession of pine and pine-oak mixed forests to oak forest. **Forest Ecology and Management**, v. 508, p. 120051, 2022.

HUSSAIN, N. *et al.* Carbon-based nanomaterials with multipurpose attributes for water treatment: Greening the 21st-century nanostructure materials deployment. **Eaapublishing.org**, v. 1, n. 1, p. 48–58, 2022.

IBA. **Relatório anual IBÁ**. São Paulo: [s. n.], 2021.

IBGE. **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura**. 2020.

IBRAMATE. **Estudo de mercado IBRAMATE**. 2021.

IJAZ, M. *et al.* Nanobiotechnology to advance stress resilience in plants: Current opportunities and challenges. **Materials Today Bio**, v. 22, 2023.

ILLENSEER, R.; PAULILO, M. T. S. Crescimento e eficiência na utilização de nutrientes em plantas jovens de *Euterpe edulis* mart. sob dois níveis de irradiância, nitrogênio e fósforo. **Acta Botanica Brasilica**, v. 16, n. 4, p. 385–394, 2002.

ISLAM, M. S. *et al.* Clonal propagation of *Bambusa vulgaris* by leafy branch cuttings. **Journal of Forestry Research**, v. 22, n. 3, p. 387–392, 2011.

IVANOVA, A. V.; MALITSKAYA, V. B. The economic aspect of new ways of obtaining innovative forest biotechnology products. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 392, n. 1, p. 012023, 2019.

IVAR WENDLING *et al.* **Manual de produção de mudas clonais de erva-mate**. 1. ed. Colombo: Embrapa Florestas, 2020.

JAKHAR, A. M. *et al.* Nano-fertilizers: A sustainable technology for improving crop nutrition and food security. **NanoImpact**, v. 27, p. 100411, 2022. Disponível em: Acesso em: 26 dez. 2022.

JAKIENĚ, E. *et al.* The bio-organic nano fertilizer improves sugar beet photosynthesis process and productivity. **Žemdirbystė Agr.**, v. 102, n. 2, p. 141–146, 2015.

JASP TEAM. **JASP Team**, 2023.

JORGE, M. H. A. *et al.* **Uso de hidrogel nanocompósito na produção de mudas de tomate e pimentão**. Brasília, 2019.

JOSÉ, A. C.; DAVIDE, A. C.; OLIVEIRA, S. L. de. Efeito do volume do tubete, tipo e dosagem de adubo na produção de mudas de aroeira (*Schinus terebinthifolia* Raddi). **Agrarian**, v. 2, n. 3, p. 73–86, 2009.

JOSEPH, S. *et al.* Shifting paradigms: Development of high-efficiency biochar fertilizers based on nano-structures and soluble components. **Carbon Management**, v. 4, n. 3, p. 323–343, 2013.

JUBEIR, S. M.; AHMED, W. A. Effect of nanofertilizers and application methods on vegetative growth and yield of date palm. **Iraqi journal of agricultural sciences**, v. 50, n. 1, p. 267–274, 2019.

JUCOSKI, G. D. O. *et al.* Excesso de ferro sobre o crescimento e a composição mineral em *Eugenia uniflora* L., p. 720–728, 2016.

JÚNIOR, F. *et al.* Enraizamento *Ex vitro* e aclimatização de plantas micropropagadas de *Tectona grandis*. **Floresta**, v. 41, n. 1, p. 79–86, 2011.

JUNQI, W. *et al.* Sharing the latest news and activities from the bamboo and rattan sector. **Bamboo & Rattan Update**, v. 3, n. 2, p. 1–32, 2022.

KAH, M. *et al.* A critical evaluation of nanopesticides and nanofertilizers against their conventional analogues. **Nature Nanotechnology**, v. 13, n. 8, p. 677–684, 2018.

KAHRL, F. *et al.* Greenhouse gas emissions from nitrogen fertilizer use in China. **Environmental Science & Policy**, v. 13, n. 8, p. 688–694, 2010.

KAUR, H. *et al.* Metabolism during adventitious root primordia initiation and development. **Environmental, Physiological and Chemical Controls of Adventitious Rooting in Cuttings**, p. 133–158, 2022.

KELCHNER, S. A.; GROUP, B. P. Molecular phylogenetics and evolution higher level phylogenetic relationships within the bamboos (Poaceae: Bambusoideae) based on five plastid markers. **Molecular Phylogenetics and Evolution**, v. 67, p. 404–413, 2013.

KETTENHUBER, P. W.; SOUSA, R.; SUTILI, F. Vegetative propagation of brazilian native species for restoration of degraded areas. **Floresta e Ambiente**, v. 26, n. 2, p. e20170956, 2019.

KHAN, Ibrahim; SAEED, K.; KHAN, Idrees. Nanoparticles: Properties, applications and toxicities. **Arabian Journal of Chemistry**, v. 12, n. 7, p. 908–931, 2019.

KIM, Y. J. F.; Hansen, A. Q. On-field crop stress detection system using multi-spectral imaging sensor. **Agricultural and Biosystems Engineering**, v. 1, n. 2, p. 88–94, 2000. Disponível em: Acesso em: 26 dez. 2022.

KLEINHENZ, V.; MIDMORE, D. J. Aspects of bamboo agronomy. **Advances in Agronomy**, v. 74, p. 99–153, 2001. Disponível em: Acesso em: 28 jan. 2023.

KOMATSU, Y. H. *et al.* In vitro morphogenic response of leaf sheath of *Phyllostachys bambusoides*. **Journal of Forestry Research**, v. 22, n. 2, p. 209–215, 2011.

KOZAI, T.; KUBOTA, C. In vitro aerial environments and their effects on growth and development of plants. **Photoautotrophic (sugar-free medium) Micropropagation as a New Micropropagation and Transplant Production System**, p. 31–52, 2005.

KOZAI, T.; KUBOTA, C.; JEONG, B. R. Environmental control for the large-scale production of plants through in vitro techniques. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v. 51, n. 1, p. 49–56, 1997.

KUMAR, A. *et al.* Effect of nitrogen and zinc nanofertilizer with the organic farming practices on cereal and oil seed crops. **Scientific Reports 2022 12:1**, v. 12, n. 1, p. 1–7, 2022.

KUMARASWAMY, R. V. *et al.* Chitosan-silicon nanofertilizer to enhance plant growth and yield in maize (*Zea mays* L.). **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 159, p. 53–66, 2021.

LANDIS, T. D. **Nutrientes minerais e fertilização**. 4. ed. Agriculture Handbook 674 - USDA Forest Service, 1989.

LE, T. T. H. *et al.* novel integrated nanofertilizers for improving the growth of *Polyscias fruticosa* and *Asparagus officinalis*. **Journal of Nanomaterials**, v. 2022, 2022.

LEE, Y. C.; MOON, J. Y. Introduction to nanotechnology and bionanotechnology. **Introduction to Bionanotechnology**, p. 1–14, 2020.

LEITE, T. de S. *et al.* Produção de mudas de *Enterolobium contortisiliquum* e partição de assimilados em resposta à adubação fosfatada e inoculação com fungos micorrízicos. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 4, p. 1157–1166, 2017.

WILKINSON, L.; FRIENDLY M. The History of the Cluster Heat Map. **The American Statistician**, v. 63, n. 2, p. 179–184, 2009.

LEONE, G. F. **Estabelecimento de protocolo para controlar a manifestação de bactérias endofíticas no processo de multiplicação *in vitro* de eucalipto**. 2013. 1–101 f. Dissertação - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

LEONE, G. F. **Otimização da produção de mudas clonais de eucalipto com o uso de bioestimulantes**. 2019. 1–143 f. Tese - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2019.

LIEBSCH, D.; REGINATO, M. Florescimento e frutificação de *Merostachys skvortzovii* Sendulsky (taquara-lixá) no estado do Paraná. **Iheringia - Serie Botânica**, v. 64, n. 1, p. 53–56, 2009.

LIMA, V. Y. de M.; ARAÚJO, A. L. D. de; AMARO, M. A. Ajuste de equações hipsométricas, volumétricas, de biomassa e carbono do fuste de árvores utilizadas na arborização urbana no Parque da Maternidade em Rio Branco-Acre. **Scientia Naturalis**, v. 2, n. 2, p. 569–582, 2020.

LIMA, V. T.; SANTOS, C. L. R. dos. influência de diferentes doses de nitrogênio na presença e ausência da adubação potássica no cultivo de milho. **Revista Eletrônica Interdisciplinar**, v. 14, n. 2, 2022.

LIN, X.; HUANG, L.; FANG, W. Bamboo regeneration via embryogenesis and organogenesis. *In*: EMBRYOGENESIS. Shanghai: InTech, 2012. p. 359–372.

LIU, J. *et al.* Bio-based elastic polyurethane for controlled-release urea fertilizer: Fabrication, properties, swelling and nitrogen release characteristics. **Journal of Cleaner Production**, v. 209, p. 528–537, 2019.

LIU, C. *et al.* Effects of phosphorus application on photosynthetic carbon and nitrogen metabolism, water use efficiency and growth of dwarf bamboo (*Fargesia rufa*) subjected to water deficit. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 96, p. 20–28, 2015.

LIU, Z. *et al.* In Vitro Technologies for American Chestnut (*Castanea dentata* (Marshall) Borkh) Conservation. **Plants**, v. 11, n. 3, p. 464, 2022.

LIU, Q. *et al.* Infrageneric phylogeny and temporal divergence of sorghum (Andropogoneae, Poaceae) based on low-copy nuclear and plastid sequences. **PLOS ONE**, v. 9, n. 8, p. e104933, 2014.

LIU, R.; LAL, R. Potentials of engineered nanoparticles as fertilizers for increasing agronomic productions. **Science of the Total Environment**, v. 514, p. 131–139, 2015.

LIZAMA ALLENDE, K.; FLETCHER, T. D.; SUN, G. The effect of substrate media on the removal of arsenic, boron and iron from an acidic wastewater in

planted column reactors. **Chemical Engineering Journal**, v. 179, p. 119–130, 2012.

LOBO, T. F. *et al.* Desenvolvimento e nutrição do girassol com lodo de esgoto e nitrogênio. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 12, n. 1, p. 173–193, 2019.

LONGUE JÚNIOR, D. *et al.* Effect of process variables on quality improvement of TGW pulps of *Eucalyptus*. **CERNE**, v. 19, n. 4, p. 567–574, 2013.

LOPES, E. C. *et al.* Crescimento de mudas de mangue sob diferentes níveis de sombreamento na península de Ajuruteua, Bragança, Pará. **Acta Amazonica**, v. 43, n. 3, p. 291–296, 2013.

LOPES, E. D. **Qualidade de mudas de *Eucalyptus urophylla*, *E. camaldulensis* e *E. citriodora* produzidas em blocos prensados e em dois modelos de tubetes e seu desempenho no campo**. 2005. 1–82 f. Dissertação - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, 2005.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil**. 4. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2002.

LUÍS, Á. *et al.* Growth and physiological attributes of *Cordia trichotoma* seedlings in response to fertilization with phosphorus and potassium. **Floresta**, v. 49, n. 1, p. 133–142, 2018.

MACCARI JUNIOR, A. **Análise do pré-processamento da erva-mate para chimarrão**. 2005. 1–215 f. Tese - Universidade de Campinas, Campinas, 2005.

MAGALHÃES, C. A. D. S. *et al.* Eficiência de fertilizantes organominerais fosfatados em mudas de eucalipto. **Scientia Agraria**, v. 18, n. 4, p. 80–85, 2017.

MAHAWAR, L. *et al.* Silicon nanoparticles: Comprehensive review on biogenic synthesis and applications in agriculture. **Environmental Research**, v. 232, 2023.

MAIA, M. M. *et al.* Incorporação de lodo de esgoto ao substrato de produção de mudas de *Bambusa vulgaris* via estaquia. **Revista Forestal Mesoamericana Kurú**, v. 19, n. 44, p. 21–28, 2022.

MAJARON, V. F. *et al.* Synergy between castor oil polyurethane/starch polymer coating and local acidification by *A. niger* for increasing the efficiency of nitrogen fertilization using urea granules. **Industrial Crops and Products**, v. 154, p. 112717, 2020.

MALEKI ASAYESH, Z. *et al.* Enhancement of ex vitro acclimation of walnut plantlets through modification of stomatal characteristics in vitro. **Scientia Horticulturae**, v. 220, p. 114–121, 2017.

MARCHIORI, J. N. C.; SOBRAL, M. **Dendrologia das angiospermas: myrtales**. 1. ed. Santa Maria: UFSM, 1997.

MÁRQUEZ-PRIETO, A. K. *et al.* Impact of the foliar application of potassium nanofertilizer on biomass, yield, nitrogen assimilation and photosynthetic activity in green beans. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, v. 50, n. 1, p. 12569–12569, 2022.

MARTIJANTI, M. *et al.* Polymer composite fabrication reinforced with bamboo fiber for particle board product raw material application. **Polymers**, v. 13, n. 24, p. 4377, 2021.

MARTINEZ, H. E. P.; CARVALHO, J. G.; SOUZA, R. B. Diagnose foliar. *In*: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVARES, V. V. H. - **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em minas gerais: 5ª aproximação**. 5. ed. Viçosa: [s. n.], 199DC. p. 143–167.

MASCARENHAS, H. A. A. *et al.* Deficiência e toxicidade visuais de nutrientes em soja. **Nucleus**, v. 10, n. 2, p. 281–306, 2013.

MATIAS, R. A. M. *et al.* Efeito da adubação suplementar foliar associada a diferentes substratos em mudas de *Myracrodruon urundeuva* Allemão. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 11, p. 25617–25629, 2019.

MAZUCHOWSKI, J. Z. **Influência de níveis de sombreamento e de nitrogênio na produção de massa foliar da erva-mate *Ilex paraguariensis* St. Hil.** 2004. Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

MAZUCHOWSKI, J. Z.; DA SILVA, E. T.; MACCARI, A. Efeito da luminosidade e da adição de nitrogênio no crescimento de plantas de *Ilex paraguariensis* St. Hil. **Revista Árvore**, v. 31, n. 4, p. 619–627, 2007.

MCMAHEN, K. *et al.* Small-volume additions of forest topsoil improve root symbiont colonization and seedling growth in mine reclamation. **Applied Soil Ecology**, v. 180, p. 104622, 2022.

MEJIAS, J. H. *et al.* Nanofertilizers: A Cutting-edge approach to increase nitrogen use efficiency in grasslands. **Frontiers in Environmental Science**, v. 9, p. 52, 2021.

MELLO, R. P. **Nutrição de plantas**. São Paulo: Fundação Editora Unesp, 2020. v. 2

MENDES, S. de C. *et al.* Absorção e distribuição de nutrientes em plantios comerciais de bambu (*Bambusa vulgaris*) no nordeste do Brasil. **Revista Árvore**, v. 34, n. 6, p. 991–999, 2010.

MENDES, L. da S. S. **Dinâmica de raízes finas em relação à disponibilidade sazonal de nutrientes e de diferentes níveis de deposição úmida em florestas tropicais**. 2018. 1–156 f. Tese - INPE, São José dos Campos, 2018.

- MENDONÇA, V. *et al.* Fertilizante de liberação lenta na formação de mudas de maracujazeiro “amarelo”. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 2, p. 344–348, 2007.
- MENEGATTI, R. D. *et al.* Formation of seedlings of guatambu on substrate with hydrogel and controlled release fertilizer. **Espacios**, v. 38, p. 35–47, 2017.
- MERELES, F. *et al.* Phytosociological studies in the Great Chaco: Structure, floristic composition and variability of the *Schinopsis balansae* forest in the humid boreal Chaco, Paraguay. **Bonplandia**, v. 29, n. 1, p. 39–55, 2020.
- MERGHANY, M. M. *et al.* Effect of nano-fertilizers on cucumber plant growth, fruit yield and it' s quality, v. 19, n. 2, p. 165–172, 2019. Acesso em: 23 ago. 2022.
- MEWS, C. L. *et al.* Efeito do hidrogel e ureia na produção de mudas de *Handroanthus ochraceus* (Cham.) Mattos. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 1, p. 107–116, 2015.
- MIRANDA, L. P. M. de *et al.* custo para implantação de *Astronium fraxinifolium* Schott em área degradada utilizando-se adubos verdes e lodo de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, p. 475–480, 2011.
- MOGHADAM, A. *et al.* Effect of Different Levels of Fertilizer Nano_Iron Chelates on Growth and Yield Characteristics of Two Varieties of Spinach (*Spinacia oleracea* L.): Varamin 88 and Viroflay. [s. l.], Research Journal of **Applied Sciences, Engineering and Technology**, v. 4, p. 4813-4818, 2012.
- MOHASEDAT, Z. *et al.* The Effects of Nano-bio Fertilizer on Vegetative Growth and Nutrient uptake in Seedlings of three apple cultivars. **Adv. Biores**, v. 9, n. 2, p. 128–134, 2018.
- MOHD NOR, M. R.; ZAMRI, I.; KHALISANNI, K. Effect of nano fertilizer on early growth, height and stem diameter of dwarfed long bean (*Vigna sesquipedalis*). **Trans. Malaysian Soc. Plant Physiol**, v. 25, p. 89–92, 2018.
- MONTEIRO, P. H. R. **feito de Bacsol sobre o crescimento e teor de macronutrientes em mudas de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cabbage**. 2017. 1–108 f. - 2013. 108 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.
- MONTEIRO, J. S. *et al.* Influência do ângulo de plantio sobre a brotação e o enraizamento de estacas de *Phyllanthus sellowianus* (Klotzsch) müll. Arg. **Ciencia Florestal**, v. 20, n. 3, p. 523–532, 2010.
- MONTOYA, L. J.; MAZUCHOWSKI JORGE Z. **Estado da arte dos sistemas agroflorestais na região sul do Brasil**. Porto Velho: [s. n.], 1994.
- MORA, A. L.; GARCIA, C. H. **A cultura do eucalipto no Brasil**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2000.

MOTA, C. S. *et al.* CRESCIMENTO, NUTRIÇÃO E QUALIDADE DE MUDAS DE *Pouteria gardneriana* (A. DC.) RADLK. PRODUZIDAS EM SUBSTRATOS ORGÂNICOS. **Cerne**, v. 22, n. 4, p. 373–380, 2016.

MUDOI, K. D. *et al.* Micropropagation of important bamboos: A review. **African Journal of Biotechnology**, v. 12, n. 20, p. 2770–2785, 2013.

NATALE, W. *et al.* Evolução da nutrição mineral na formação de porta-enxertos e mudas de frutíferas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 40, n. 6, 2018.

NAVROSKI, M. C. *et al.* Initial growth of seedlings of *Eucalyptus dunnii* maiden as influenced by the addition of natural polymer and farming substrates. **Revista Árvore**, v. 40, n. 4, p. 627–637, 2016.

NOVAIS, R. F. de *et al.* **Fertilidade do Solo**. 1. ed. Viçosa: 2007, [s. d.].

OLIET, J. A. *et al.* Nursery fertilization and tree shelters affect long-term field response of *Acacia salicina* Lindl. planted in Mediterranean semiarid conditions. **Forest Ecology and Management**, v. 215, n. 1–3, p. 339–351, 2005.

OLIVEIRA, R. de S. *et al.* Evaluation of genetic parameters and clonal selection of *Eucalyptus* in the Cerrado region. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 20, n. 3, p. 1–9, 2020.

OLIVEIRA, L. F. R. de *et al.* Meliaceae trees cultivated in Brazil. **Applied Research & Agrotechnology**, v. 12, n. 2, p. 139–151, 2019.

OLIVEIRA, Y. M. M.; ROTTA, E. **Área de distribuição natural da erva-mate**. Curitiba: EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Florestas. Documento 15, 1985.

PACURAR, D. I. *et al.* The Arabidopsis Cop9 signalosome subunit 4 (CSN4) is involved in adventitious root formation. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 1–12, 2017.

PAGLIOSA, C. M. **Caracterização química do resíduo de ervais e folhas “in natura” de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St. Hill.)**. 2009. 1–146 f. Dissertação - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

PAGLIOSA, C. M. *et al.* Characterization of the bark from residues from mate tree harvesting (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). **Industrial Crops and Products**, v. 32, n. 3, p. 428–433, 2010.

PAIVA, D. I. *et al.* Unraveling the genetic complexity of a cultivated breeding population of “yerba mate” (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 92, n. 1, p. 20190113, 2020.

PANDOLFO, C. M. *et al.* Resposta da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) à adubação mineral e orgânica em um latossolo vermelho aluminoférrico.

PARK, S. H. *et al.* Evaluation of sembilang bamboo (*Dendrocalamus giganteus*) charcoal for potential utilization. **BioResources**, v. 15, n. 1, p. 6–19, 2020.

PASINATO, R. **Aspectos etnoentomológicos, socioeconômicos e ecológicos relacionados à cultura da Erva-mate (*Ilex paraguariensis*) no município de Salto do Lontra, Paraná, Brasil**. 2003. 1–112 f. Dissertação - ESALQ/Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

PEIXOTO, M. M. *et al.* Elevated efficiency of C3 photosynthesis in bamboo grasses: A possible consequence of enhanced refixation of photorespired CO₂. **GCB Bioenergy**, v. 13, n. 6, p. 941–954, 2021.

PENTEADO JUNIOR, J. F.; GOULART, I. C. G. dos R. **Erva 20 Sistema de produção de erva-mate**. 1. ed. Brasília: Embrapa, 2019.

PEREIRA, M. A. dos R.; BERALDO, A. L. **Bambu de Corpo e Alma**. 2. ed. [S. l.: s. n.], 2016.

PÉREZ-FLORES, J. *et al.* Fruit characterization and plant quality of Spanish cedar (*Cedrela odorata* L.) during the early nursery stage. **Agro Productividad**, 2023.

PINTRO, J. C.; MATUMOTO-PINTRO, P. T.; SCHWAN-ESTRADA, K. R. F. Crescimento e desenvolvimento de mudas de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) cultivadas em solo sob diferentes níveis de fertilidade. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 20, n. 0, p. 285–289, 1998.

FARIA, P. C. I. *et al.* Qualidade nutricional e culinária de cultivares de arroz adubado com doses de nitrogênio. **Agri-environmental sciences**, v. 6, p. 10–10, 2020.

POLETTI, I. *et al.* influência da aplicação de NPK e calcário sobre o crescimento da Erva-mate, severidade da podridão-de-raízes e população fúngica do solo. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 3, p. 429–444, 2011.

POORTER, H. *et al.* The art of growing plants for experimental purposes: a practical guide for the plant biologist. **Functional Plant Biology**, v. 39, n. 11, p. 821–838, 2012.

POSSATO, E. L. *et al.* Atributos químicos de um cambissolo e crescimento de mudas de eucalipto após adição de lodo de curtume contendo cromo. **Revista Árvore**, v. 38, n. 5, p. 847–856, 2014. Disponível em: <http://www.scielo.br/j/rarv/a/nCqv6sVsLxj4WbcMrNkL7sg/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 25 jan. 2023.

PRYOR, L. D. **Biology of Eucaliptos**. Canberra: Edward Arnold, 1976.

PUTTONEN, P. Looking for the “silver bullet” - Can one test do it all? **New Forests**, v. 13, n. 1–3, p. 9–27, 1997.

RABELO, L. K. L. *et al.* Espécies frutíferas na arborização urbana do município de Santarém, Pará. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 10, n. 3, p. 335–341, 2019.

RADOMSKI, M. I. *et al.* Avaliação dos teores de macro e micronutrientes em folhas jovens e velhas de erva-mate nativa. **Revista do Instituto Florestal**, v. 4, n. 2, p. 453–456, 1992.

RAJPUT, B. S. *et al.* Large-scale clonal propagation of *Bambusa balcooa* Roxb.: An industrially important bamboo species. **Industrial Crops and Products**, v. 157, p. 112905, 2020.

RALIYA, R. *et al.* Nanofertilizer for precision and sustainable agriculture: current state and future perspectives. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 66, n. 26, p. 6487–6503, 2018.

RAYZA, S. de A. C.; VIEIRA, C. R. Produção de mudas de espécies florestais em substrato contendo esterco de aves ou esterco bovino. **Ensaio e Ciência C Biológicas Agrárias e da Saúde**, v. 24, n. 4, p. 386–395, 2020.

REDDY, A. N. Y. *et al.* Commercial exploitation of Medri bamboo - an economic analysis. **Recent advances in bamboo research**, p. 79–89, 2003.

RENNEBERG, R.; BERKLING, V.; LOROCH, V. Green Biotechnology. **Biotechnology for Beginners**, p. 233–279, 2017.

RIBEIRO, M. M.; REISSMANN, C. B.; CORRÊA, D. R. Nutrição da erva-mate com sulfato de amônio. **Cerne**, n. 3, p. 204–211, 2008.

ROCHA, J. H. T. *et al.* Concentração de nutrientes e intensidade de cor verde em miniestacas de eucalipto. **Biosci. J**, v. 29, n. 6, p. 1848–1856, 2013a.

ROCHA, S. A. *et al.* Crescimento e nutrição foliar de mudas de *Eucalyptus* sp. irrigadas com diferentes qualidades de água. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 37, n. 2, p. 141–151, 2019.

ROCHA, J. H. T. *et al.* Produção e desenvolvimento de mudas de eucalipto em função de doses de fósforo. **Cerne**, v. 19, n. 4, p. 535–543, 2013b.

RODRIGUES, M. **Startup cria biofertilizante nanotecnológico**. [S. l.], 2021.

ROQUE DALLABRIDA, V. *et al.* Com erva-mate não se faz só chimarrão! Situação atual e perspectivas de inovação no setor ervateiro do Planalto Catarinense. **DRd - Desenvolvimento Regional em debate**, v. 6, n. 2, p. 247–273, 2016.

ROSA, L. S. da *et al.* Efeito do nitrogênio no estado nutricional e na produção de biomassa em minicepas de *Eucalyptus dunnii* Maiden. **Cerne**, p. 17–22, 2015.

ROSÁRIO, M. *et al.* Adubação fosfatada proporciona melhores mudas de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.). **Enciclopédia biosfera**, v. 19, n. 42, 2022.

ROSHDY, Kh.; REFAAI, M. Effect of nanotechnology fertilization on growth and fruiting of zaghoul date palms. **Journal of Plant Production**, v. 7, n. 1, p. 93–98, 2016.

ROSOLEM, C. A.; BASTOS, G. B. Indução de deficiências nutricionais em mudas de mogno africano (*Khaya ivorensis* A. Chev.). **Bragantia**, v. 56, n. 2, p. 377–387, 2013.

ROSSA, U. **Produtividade e compostos foliares da erva-mate sob efeitos de luminosidades e fertilização**. 2013. 1–207 f. Tese - UFPR, Curitiba, 2013.

RUDEK, A.; GARCIA, F. A.; PERES, F. Avaliação da qualidade de mudas de eucalipto pela mensuração da área foliar com o uso de imagens digitais. **Enciclopédia biosfera**, v. 9, n. 17, 2013.

SA, I. K.; JOO, S. W. Studies on the bamboo plantation by the mother bamboo, bamboo seedling, stock with rhizome, and rhizome. **Res. Rep. Forest Res. Inst. [Korea]**, n. No. 17, p. 69–76, 1970.

SAIDELLES, F. L. F.; REINERT, D. J.; SALET, R. L. Crescimento inicial de mudas de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) em três classes de solo, na região central do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, v. 13, n. 2, p. 17–25, 2003.

SANTI, T. O potencial do bambu. **Revista mensal de tecnologia em celulose e papel**, p. 22–34, 2015.

SANTIN, D. *et al.* Adubação nitrogenada e intervalos de colheita na produtividade e nutrição da erva-mate e em frações de carbono e nitrogênio do solo. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 3, p. 1199–1214, 2019.

SANTIN, D. *et al.* Crescimento e nutrição de erva-mate influenciados pela adubação nitrogenada, fosfatada e potássica. **Ciência Florestal**, v. 23, n. 2, p. 363–375, 2013.

SANTIN, D. *et al.* Manejo de colheita e adubação fosfatada em cultura de erva-mate (*Ilex paraguariensis*) em fase de produção. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 3, p. 783–797, 2017.

SANTOS, C. C. *et al.* Chicken manure and luminous availability influence gas exchange and photochemical processes in *Alibertia edulis* (Rich.) A. Rich seedlings. **Engenharia Agrícola**, v. 40, n. 4, p. 420–432, 2020.

SANTOS, F. D. dos *et al.* Crescimento de mudas de açoita-cavalo (*Luehea divaricata* Mart. & Zucc.) sob diferentes doses de adubação, em viveiro. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 6, p. 63924–63932, 2021.

SANTOS, A. R. M. dos *et al.* Use of biosaline water in the germination of seeds of Caatinga forest species - a review. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 11, p. e99101119419–e99101119419, 2021.

SCHERER, R. A. **Early selection of yerba mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) in Argentina**. Bonn: [s. n.], 1997.

SCHULZ, D. G. **Adubação nitrogenada e aplicação de etileno ao final do ciclo de produção em mudas de *Eucalyptus grandis* Hill e *Luehea***

divaricata. 2015. 1–106 f. Tese - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2015.

SELEIMAN, M. F. *et al.* Nano-fertilization as an emerging fertilization technique: why can modern agriculture benefit from its use? **Plants**, v. 10, n. 1, p. 2, 2020.

SELEIMAN, M. F. *et al.* Salinity stress in wheat: effects, mechanisms and management strategies. **Phyton**, v. 91, n. 4, p. 667–694, 2022.

SHANG, Y. *et al.* Applications of nanotechnology in plant growth and crop protection: A review. **Molecules**, v. 24, n. 14, 2019.

SHARMA, G. *et al.* Chitosan nanofertilizer to foster source activity in maize. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 145, p. 226–234, 2020.

SHARMA, S. *et al.* Nanofertilizers for sustainable fruit production: a review. **Environmental Chemistry Letters**, v. 19, n. 2, p. 1693–1714, 2020.

SHEN, Y. *et al.* Linking soil nutrients and traits to seedling growth: A test of the plant economics spectrum. **Forest Ecology and Management**, v. 505, p. 119941, 2022.

SHEORAN, P. *et al.* Enhancement of growth and yield, leaching reduction in *Triticum aestivum* using biogenic synthesized zinc oxide nanofertilizer. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 32, p. 101938, 2021.

SILVA, S. M. M. *et al.* Genetic structure and diversity of native *Guadua* species (Poaceae: Bambusoideae) in natural populations of the Brazilian Amazon rainforest. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 92, n. 3, p. 1–21, 2020.

SILVA, O. M. D. C. *et al.* Potencial uso da casca de café como constituinte de substrato para produção de mudas de espécies florestais. **Ciência Florestal**, v. 30, n. 4, p. 1161–1175, 2020.

SILVA, P. O. da *et al.* Ureia como fonte de nitrogênio na fisiologia e crescimento inicial de *Guazuma ulmifolia* Lam. (Malvaceae). **Ciência Florestal**, v. 30, n. 4, p. 1192–1200, 2020.

SILVA, A. A. da; DELATORRE, C. A. Alterações na arquitetura de raiz em resposta à disponibilidade de fósforo e nitrogênio. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 8, n. 2, p. 152–163, 2009.

SIM, D. H. H. *et al.* Synthesis of tapioca starch/palm oil encapsulated urea-impregnated biochar derived from peppercorn waste as a sustainable controlled-release fertilizer. **Waste Management**, v. 173, p. 51–61, 2024.

SINGH, D. *et al.* Applications of Nanotechnology in Forest Management. **Journal of Nanoscience and Nanotechnology**, v. 21, n. 6, p. 3466–3480, 2021.

SINGH, S. R. *et al.* Limitations, progress, and prospects of application of biotechnological tools in improvement of bamboo—a plant with extraordinary qualities. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v. 19, n. 1, p. 21–41, 2013.

SINGH, S.; KUMAR, P.; ANSARI, S. A. A simple method for large-scale propagation of *Dendrocalamus asper*. **Scientia Horticulturae**, v. 100, n. 1–4, p. 251–255, 2004.

SIQUEIRA-SILVA, A. I. *et al.* Iron plaque formation and morphoanatomy of roots from species of restinga subjected to excess iron. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 78, p. 265–275, 2012.

SOARES, P. P. de S. *et al.* Crescimento, qualidade de raízes e atividade da redutase do nitrato em plantas de rabanete submetidas a doses de potássio e fontes de nitrogênio. **Scientia Plena**, v. 16, n. 6, 2020.

SOARES, M. T. S. *et al.* Sobrevivência inicial de Erva-mate sob adubação nitrogenada no extremo sul do Paraná. *In: Sociedade brasileira da ciência do solo (org.). XIII Reunião Sul Brasileira de Ciência do Solo*. Porto Alegre: [s. n.], 2020. p. 465–469.

SOBRAL, M. *et al.* **Flora arbórea e arborescente do Rio Grande do Sul, Brasil**. 2. ed. São Carlos: RiMa, 2013.

SOLÍS-ZANOTELLI, F. Y. *et al.* In vitro germination and development of “Canelita” (*Lycaste aromatica* (Graham) Lindl.) in gravity immersion bioreactors. **In Vitro Cellular and Developmental Biology - Plant**, 2022.

SOMAVILLA, A. *et al.* Avaliações morfológicas de mudas de Cedro australiano submetidas a diferentes doses do fertilizante osmocote plus®. **Comunicata Scientiae**, v. 5, n. 4, p. 493–498, 2014.

SORENG, R. J. *et al.* A worldwide phylogenetic classification of the Poaceae (Gramineae). **Journal of Systematics and Evolution**, v. 53, n. 2, p. 117–137, 2015.

SOUZA, V. C.; LORENZI, H. **Botânica Sistemática: Guia ilustrado para identificação das famílias de Angiospermas da flora brasileira em APG II**. 1. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2008.

SOUZA, V. C.; LORENZI, H. **Botânica sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias de Fanerógamas nativas e exóticas no Brasil, baseado em APG III**. 3. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2012.

STEFFENS, B.; RASMUSSEN, A. The physiology of adventitious roots. **Plant Physiology**, v. 170, n. 2, p. 603–617, 2016.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto alegre: Artmed, 2009. v. 1

TARAFDAR, J. C. *et al.* development of zinc nanofertilizer to enhance crop production in pearl millet (*Pennisetum americanum*). **Agricultural Research**, v. 3, n. 3, p. 257–262, 2014.

TARCISIO, A.; QUEIROZ, S.; COSTA DE OLIVEIRA, B. Ação de microrganismos promotores do crescimento de plantas: uma revisão sistemática da literatura. **Revista Psipro**, v. 2, n. 5, p. 98–112, 2023.

TARDY, B. L. *et al.* Tessellation of chiral-nematic cellulose nanocrystal films by microtemplating. **Advanced Functional Materials**, v. 29, n. 25, 2019.

TEMKIN, A. *et al.* Exposure-based assessment and economic valuation of adverse birth outcomes and cancer risk due to nitrate in United States drinking water. **Environmental Research**, v. 176, p. 108442, 2019.

TIMILSINA, A.; CHEN, H. The Emerging applications of zinc-based nanoparticles in plant growth promotion. **Nanotechnology in Plant Growth Promotion and Protection**, p. 45–62, 2021.

TIMMER, V. R.; MUNSON, A. D. Site-specific growth and nutrition of planted piceamariana in the ontario clay belt. iv. nitrogen loading response. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 21, n. 7, p. 1058–1065, 2011.

TIZA, T. M. *et al.* Assessing the potentials of bamboo and sheep wool fiber as sustainable construction materials: A review. **Materials Today: Proceedings**, v. 47, p. 4484–4489, 2021.

TRAZZI, P. A. *et al.* Qualidade de mudas de *Murraya paniculata* produzidas em diferentes substratos. **Floresta**, v. 42, n. 3, p. 621–630, 2012.

TRIGUEIRO, R. de M.; GUERRINI, I. A. Utilização de lodo de esgoto na produção de mudas de aroeira-pimenteira. **Revista Árvore**, v. 38, n. 4, p. 657–665, 2014.

TUCCI, C. A. F.; LIMA, H. N.; LESSA, J. F. Adubação nitrogenada na produção de mudas de mogno (*Swietenia macrophylla* King). **Acta Amazonica**, v. 39, n. 2, p. 289–293, 2009.

TURCHETTO, F. *et al.* Growth and physiology of *Balfourodendron riedelianum* seedlings in the nursery and in the field. **FLORESTA**, v. 49, n. 4, p. 763–772, 2019.

USMAN, M. *et al.* Nanotechnology in agriculture: Current status, challenges and future opportunities. **Science of the Total Environment**, v. 721, 2020.

VAMIL, R.; AGNIHOTRI, R. K.; SHARMA, R. Effect of certain plant growth regulators on the seedling survival, biomass production and proline content of *Bambusa arundinacea*. **Science Research Reporter**, v. 1, n. 2, p. 44–48, 2011.

VANTI, G.; BELUR, S.; HUSEN, A. Use of nanomaterials in agricultural sectors. **Advances in Smart Nanomaterials and their Applications**, p. 445–467, 2023.

VENKATACHALAM, P. *et al.* Enhanced plant growth promoting role of phycomolecules coated zinc oxide nanoparticles with P supplementation in

- cotton (*Gossypium hirsutum* L.). **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 110, p. 118–127, 2017.
- VERDE, R. *et al.* Crescimento inicial de mudas de açaizeiro em resposta a doses de nitrogênio e potássio. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 6, n. 2, p. 45, 2011.
- WALKER, C. *et al.* Viveiro florestal: evolução tecnológica e legalização. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 6, n. 5, p. 2, 2011.
- WANG, J. *et al.* Main and interactive effects of increased precipitation and nitrogen addition on growth, morphology, and nutrition of *Cinnamomum burmanni* seedlings in a tropical forest. **Global Ecology and Conservation**, v. 20, p. e00734, 2019.
- WANG, D. *et al.* Nano-enabled pesticides for sustainable agriculture and global food security. **Nature Nanotechnology**, v. 17, n. 4, p. 347–360, 2022.
- WANG, P. *et al.* Nanotechnology: A New Opportunity in Plant Sciences. **Trends in Plant Science**, v. 21, n. 8, p. 699–712, 2016.
- WANG, S. L.; NGUYEN, A. D. Effects of Zn/B nanofertilizer on biophysical characteristics and growth of coffee seedlings in a greenhouse. **Research on Chemical Intermediates**, v. 44, n. 8, p. 4889–4901, 2018.
- WENDLING, I. *et al.* **Manual de produção de mudas clonais de erva-mate**. Colombo: Colombo: Embrapa Florestas, 2020.
- WENDLING, I. *et al.* Produção de mudas de eucalipto. **O eucalipto e a Embrapa: quatro décadas de pesquisa e desenvolvimento**, p. 113–170, 2021.
- WENDLING, I.; DUTRA, L. F. Produção de mudas de eucalipto por sementes. In: WENDLING I. & DUTRA L. F. *In: Produção de mudas de eucalipto*. Colombo: Embrapa Florestas, 2010. p. 13–47.
- WHITE, J. C.; GARDEA-TORRESDEY, J. Achieving food security through the very small. **Nature Nanotechnolog**, v. 13, n. 8, p. 627–629, 2018.
- XAVIER, A. *et al.* Propagação vegetativa de cedro-rosa por miniestaquia. **Revista Árvore**, v. 27, n. 2, p. 139–143, 2003.
- XAVIER, A.; SANTOS, G. A. dos; OLIVEIRA, M. L. de. Enraizamento de miniestaca caulinar e foliar na propagação vegetativa de cedro-rosa (*Cedrela fissilis* Vell.). **Revista Árvore**, v. 27, n. 3, p. 351–356, 2003.
- XU, X. *et al.* Bamboo construction materials: Carbon storage and potential to reduce associated CO₂ emissions. **Science of The Total Environment**, v. 814, p. 152697, 2022.

- YADAV, M.; MATHUR, A. Bamboo as a sustainable material in the construction industry: An overview. **Materials Today: Proceedings**, v. 43, p. 2872–2876, 2021. Disponível em: Acesso em: 28 ago. 2022.
- YAMAMOTO, C. F. *et al.* Slow-release fertilizers based on urea/urea–formaldehyde polymer nanocomposites. **Chemical Engineering Journal**, v. 287, p. 390–397, 2016.
- YAMATO, M. *et al.* Effects of the application of charred bark of *Acacia mangium* on the yield of maize, cowpea and peanut, and soil chemical properties in South Sumatra, Indonesia. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 52, n. 4, p. 489–495, 2006.
- YANAI, Y.; TOYOTA, K.; OKAZAKI, M. Effects of charcoal addition on N₂O emissions from soil resulting from rewetting air-dried soil in short-term laboratory experiments: Original article. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 53, n. 2, p. 181–188, 2007.
- YANG, H. Q. *et al.* A molecular phylogenetic and fruit evolutionary analysis of the major groups of the paleotropical woody bamboos (Gramineae: Bambusoideae) based on nuclear ITS, GBSSI gene and plastid trnL-F DNA sequences. **Molecular Phylogenetics and Evolution**, v. 48, n. 3, p. 809–824, 2008.
- YANG, L. *et al.* Study on the regulation of exogenous hormones on the absorption of elements and the accumulation of secondary metabolites in the medicinal plant *artemisia argyi* leaves. **Metabolites**, v. 12, n. 10, p. 984, 2022.
- YASEEN, A. A.; KADIM, A. M. Impact of nano chelated iron, ga3 and organic fertilizer (Acadian) in moringa leaves content of α -tocopherol and phytosterols. **Research Journal of Pharmacy and Technology**, v. 11, n. 5, p. 1840–1846, 2018.
- YOUNG, S. M.; JUDD, W. S. Systematics of the *Guadua angustifolia* Complex (Poaceae: Bambusoideae). **Annals of the Missouri Botanical Garden**, v. 79, n. 4, p. 737, 1992.
- ZAGZOG, O.; GAD, M. Improving growth, flowering, fruiting and resistance of malformation of mango trees using nano-zinc. **Middle East J. Agr. Res**, v. 6, n. 3, p. 673–681, 2017.
- ZAHAWI, R. A. *et al.* The Effect of Restoration Treatment Soils and Parent Tree on Tropical Forest Tree Seedling Growth. **Open Journal of Forestry**, v. 5, n. 2, p. 154–161, 2015.
- ZAVISTANOVICZ, T. C. *et al.* Morphophysiological responses of *Ilex paraguariensis* seedlings to different substrates and fertilizations. [s. l.], n. 2, p. 111–115, 2017.
- ZHANG, P. *et al.* Nanotechnology and artificial intelligence to enable sustainable and precision agriculture. **Nature Plants**, v. 7, n. 7, p. 864–876, 2021.

ZHANG, K. *et al.* Sequential utilization of bamboo biomass through reductive catalytic fractionation of lignin. **Bioresource Technology**, v. 285, p. 1–7, 2019.

ZULFIQAR, F. *et al.* Nanofertilizer use for sustainable agriculture: Advantages and limitations. **Plant science: an international journal of experimental plant biology**, v. 289, 2019.

CAPÍTULO 1

RESPOSTAS DA APLICAÇÃO DE NANOFERTILIZANTES NA RIZOGÊNESE E NO CRESCIMENTO DE MUDAS CLONAIS DE EUCALIPTO EM VIVEIRO.

1. INTRODUÇÃO

A produção global de madeira em tora teve um acréscimo na produtividade de 14%, subindo de 3,5 bilhões de m³ no ano 2000 para cerca de 4 bilhões de m³ no ano de 2019, sendo que os países em desenvolvimento são os maiores produtores (FAO, 2021). Em 2019, a Índia ficou em primeiro lugar com 302 milhões de m³, com 16% da produção total, seguida da China com 160 milhões de m³, com um percentual de 8% da produção total, e em terceiro o Brasil, com 123 milhões de m³, cerca de 6% da produção total (FAO, 2021).

O Brasil ocupa posição de destaque no cenário mundial de produtos florestais, devido, principalmente aos plantios de espécies do gênero *Eucalyptus*. Atualmente, os reflorestamentos com eucalipto somam 7,47 milhões de há, um total 78% das florestas plantadas brasileiras (IBA, 2021). O Brasil é referência também quando se trata em produtividade de madeira por área com ciclos extremamente curtos. Além das condições de clima e solo, o setor investe a décadas em pesquisa e desenvolvimento em manejo florestal, aliados ao melhoramento genético (André *et al.*, 2021; dos Santos *et al.*, 2021; IBA, 2021).

A produção de mudas de eucalipto é feita principalmente através da clonagem, uma vez que garante a plena manutenção das características da planta matriz e a implantação povoamentos florestais uniformes com elevada produtividade, resistência a patógenos, rápido crescimento e acentuada adaptabilidade (Castro *et al.*, 2016; dos Santos *et al.*, 2018; Ferreira *et al.*, 2004). Para a formação de mudas clonais, são utilizadas estacas e miniestacas, e por se tratar de reprodução assexuada, irão ser formadas raízes adventícias a partir de tecidos não radiculares após um episódio de estresse, como seca, inundação ou dano físico é um processo complexo influenciado por

um grande conjunto de fatores exógenos e endógenos (Bellini; Pacurar; Perrone, 2014; Druege *et al.*, 2019; Hartmann *et al.*, 2002; Pacurar *et al.*, 2017a, 2017b; Steffens; Rasmussen, 2016).

No enraizamento de clones em viveiro, os fatores exógenos que se destacam são o recipiente, o substrato, a disponibilidade hídrica, as técnicas de manejo e o fertilizante. A atuação dos nutrientes no desenvolvimento de raízes dá-se principalmente ao fato de que elementos minerais se correlacionam entre si, sendo transportados pela água a partir de sua disponibilidade para as plantas, desta forma sua falta pode levar à deficiência nutricional. Deste modo, quanto maior a disponibilidade e absorção dos nutrientes, maior vigor a planta terá (Leone, 2019; Mello, 2020).

Sabe-se que em clones de eucalipto, o tempo de indução da rizogênese varia de duas a quatro semanas, e quanto menor o tempo de enraizamento menores serão as chances de incidência de doenças (Ferreira *et al.*, 2004), despesas com mão de obra, fertilizantes, energia elétrica, água, recipientes, tempo de produção da muda entre outros.

O sistema radicular, de modo geral, é totalmente dependente da disponibilidade de macro e micronutrientes, sendo totalmente adaptável a qualquer alteração do número, tamanho, ângulo e diâmetro das raízes, diante de qualquer modificação na quantidade dos nutrientes, buscando de modo constante melhorar a absorção dos mesmos (Bellini; Pacurar; Perrone, 2014; Leone, 2013, 2019; Mello, 2020; Pacurar *et al.*, 2017b).

Com isso, os nanofertilizantes, apresentam-se como alternativa viável na nutrição de plantas, uma vez que podem liberar nutrientes até 50 dias, enquanto os fertilizantes convencionais liberam nutrientes mais rapidamente, no máximo 10 dias (Kahrl *et al.*, 2010; Kim, 2000; Seleiman *et al.*, 2020; Shang *et al.*, 2019; Usman *et al.*, 2020). A grande maioria dos fertilizantes convencionais aplicados são perdidos por lixiviação, ou até mesmo tornam-se indisponíveis para a planta devido à disponibilidade excessiva e rápida dificultando a absorção pelas raízes, e até mesmo causando efeitos tóxicos na planta (Zulfiqar *et al.*, 2019b).

A lixiviação apresenta problemas de eutrofização, acidificação do solo, poluição do ar, mudanças climáticas, entre outras, trazendo consigo além da preocupação ecológica, problemas de saúde, uma vez que a contaminação por

nitrito de água potável é relatada como uma das principais causas de câncer e problemas em gestações nos Estados Unidos da América, principalmente pelo excesso de nitratos liberados no meio ambiente, causando também poluição das águas superficiais (Guha *et al.*, 2022; Temkin *et al.*, 2019).

Estudos têm sido realizados com espécies agronômicas na utilização de nanofertilizantes para redução das perdas por lixiviação e para o aumento da disponibilidade de nutrientes para planta e conseqüentemente a melhora do enraizamento. Estudos demonstram que a lixiviação dos nanofertilizantes é significativamente reduzida (30%) quando comparadas com fertilizantes convencionais (Sheoran *et al.*, 2021a). No setor agrícola a eficiência dos nanofertilizantes em relação ao aumento da produtividade nas mais diversas culturas, como: manga (200%), vagem de quiabo (50%), do pêssego (57%), romã (17%), soja (40%), arroz (13,7%), trigo (20,4%) (Abo El-Hamd; Abd Elwahed, 2018; Davarpanah *et al.*, 2016a; Dimkpa *et al.*, 2018, 2019; Elsheery *et al.*, 2020) é evidente.

Assim, o Capítulo 1 tem como objeto avaliar o efeito de diferentes doses de Arbolin Biogenesis® na produção de mudas clonais de eucalipto.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local de implantação do experimento

O experimento foi desenvolvido no Viveiro SW Florestal, localizado no assentamento p.a, chácara número 46, zona rural do município de Cristalina/Goiás, coordenadas -16.7244S e -47.2133W.

O clima, segundo Köppen e Geiger é classificado como Aw, caracterizado por duas nítidas estações: uma seca durante o inverno e outra chuvosa no verão. A temperatura média é de 22°C e a pluviosidade média anual é 1600 mm (Cardoso; Marcuzzo; Barros, 2014).

2.2 Recipientes de produção de mudas e substrato

Os recipientes utilizados foram tubetes de 55cm³. O substrato, marca Maxfértil®, é composto por casca de pinus, cinzas, vermiculita, turfa serragem e bioestabilizados, contendo 0,5% de corretivos de acidez, 0,5% de fosfato natural e 0,6% de fertilizante mineral N-P-K. Possui densidade de 310 Kg/m³, pH de 6 +/- 0,5, condutividade elétrica de 0,5 +/- 0,30 ms/cm e uma capacidade de retenção de água de até 90%.

2.3 Coleta dos propágulos e preparo

Os propágulos foram coletados do jardim clonal do viveiro SW Florestal. As estacas, do clone I144 (*E. urophylla* x *E. grandis*) foram preparadas seguindo o protocolo da empresa, com tamanho variando de 6 a 10 cm, com redução de aproximadamente 50% da área foliar, através de poda com tesoura. As estacas, assim que coletadas, foram colocadas em baldes com água, onde permaneceram por período menor ou igual a 30 minutos. O estaqueamento foi feito diretamente no tubete, evitando perda da viabilidade.

2.4 Instalação do experimento

O experimento foi instalado em casa de vegetação com temperatura e irrigação controladas. Durante a fase de enraizamento, com duração de cerca de 30 dias, as miniestacas permaneceram em sob irrigação por nebulização, com vazão unitária de $7,5 \text{ L h}^{-1}$. A irrigação era acionada através sensor de temperatura e umidade relativa do ar quando a temperatura do ambiente estivesse acima de $30 \text{ }^\circ\text{C}$ ou a umidade relativa do ar abaixo de 80%. O delineamento utilizado foi o delineamento inteiramente ao acaso, com 60 mudas por tratamento, sendo cada muda considerada uma repetição. Os dados foram obtidos de 10% da amostra total, ou seja, 6 mudas por tratamento.

Os tratamentos foram: nenhuma aplicação de adubação (T0: testemunha); 0,5 ml (T1); 1,0 ml (T2); 1,5 ml (T3) e 2 ml (T4) de nanofertilizante Arbolin Biogenesis®, diluído a 10% em água destilada. Houve também um tratamento a fim de compara a adubação utilizada no viveiro, denominado tratamento controle (TC), que utilizou a adubação padrão do viveiro (200g de osmocote 16-08-12, 150g de superfosfato simples 00-21-00 e 150g de N-P-K 05-06-05 para cada 200 litros de substrato), adubação base, e após 45 dias, no tratamento controle, foi aplicado, quinzenalmente, fosfato monoamônico diluído à 15%.

O nanofertilizante foi aplicado através de pipeta dosadora diretamente no tubete (adubação de cobertura), a cada 15 dias, durante o período de 120 dias. As mudas permaneceram em casa de vegetação até que o enraizamento fosse considerado satisfatório (cerca de 95% do total das estacas), em seguida realocadas em casa de aclimatização, com proteção tipo sombrite (50% de sombreamento), e irrigação por microaspersão controlada (lâmina d'água diária de 15mm) por 10 dias.

Após, foram colocadas a pleno sol. Nessa etapa os tubetes com as estacas foram retirados das bandejas e dispostos em bancadas, com redução da densidade alternada, 50% durante 20 dias e 25% até estarem prontas para comercialização (cerca de 120 dias após o plantio).

2.5 Análise dos resultados

2.5.1 Avaliação das características morfológicas

Para avaliação das características morfológica utilizados métodos descritos por Böhm (1979), são descritos a altura da parte aérea (H), em centímetros, obtida com auxílio de régua graduada; diâmetro do coleto (D), em milímetros, obtido com auxílio de paquímetro digital; número de folhas (NF), obtido através da contagem simples; massa seca da parte aérea (MSA) e massa seca das raízes (MSR) ambas em gramas, obtidas através da secagem do material em estufa com temperatura variando entre 65°C a 75°C até atingirem peso constante, e posterior pesagem em balança analítica de precisão (0,001 g).

De maneira complementar, foi realizado a contagem simples das raízes (NR) e a mensuração do diâmetro médio das raízes (DMR). A fim de expressar o equilíbrio do crescimento das mudas de eucalipto, foi calculado o Índice de Qualidade de Dickson (IQD), obtido através da ponderação da massa seca total, relação da altura e diâmetro e a relação da massa seca da parte aérea com as raízes conforme equação 1 (Dickson; Leaf; Hosner, 1960).

$$IQD = MST / \left[\frac{H}{D} + \frac{MSA}{MSR} \right] \quad \text{Equação 1.}$$

2.5.2 Avaliação das características nutricionais

Para avaliação das características químicas, brotos e folhas das mudas com 120 dias, foram destacados das raízes e acondicionados em estufa, com temperatura variando entre 65 e 75 °C até atingirem peso constante.

Após, a massa seca foi moída em moinho tipo Willey, e determinados os teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S) e micronutrientes (Fe, Zn, Mn, Cu e B), de acordo com a metodologia descrita por Bataglia et al. (1983).

2.6 Análise estatística

Os dados preliminares foram submetidos diferentes análises, incluindo a descritiva (média e desvio padrão), seguida dos testes de normalidade (Shapiro-Wilk), e homogeneidade (Bartlett). Depois de verificada a homogeneidade e normalidade dos dados, as variáveis morfológicas e nutricionais das mudas foram submetidas à análise de variância da regressão polinomial ($\alpha=0,05$), utilizando-se as médias de cada tratamento. A equação de regressão selecionada foi correspondente à regressão significativa de mais alto grau ($p<0,05$). Caso constatada a significância entre as interações dos fatores testados, as médias foram submetidas ao teste de Scott & Knott.

As doses de nanofertilizante foram agrupadas, por meio da análise de variáveis canônicas. Essa análise é um procedimento estatístico multivariado, que avalia o grau de similaridade entre elementos amostrais (doses de nanofertilizante e ureia), levando em consideração a matriz de covariância residual, ou seja, a variação entre as repetições, além da média das variáveis.

O objetivo principal dessa análise foi simplificar a estrutura dos dados, de forma que a dispersão entre os tratamentos representados por um conjunto p-dimensional (sendo que p representa o número de variáveis avaliadas), possa ser avaliada por um conjunto bidimensional de fácil interpretação, permitindo o agrupamento entre os tratamentos (CRUZ; REGAZZI, 1994; TRUGILHO, 1995). Essa análise foi realizada para as variáveis morfológicas em relação ao nanofertilizante.

De maneira complementar, as doses de nanofertilizante, foram correlacionados com as médias das variáveis morfológicas e nutricionais através correlação de Pearson $|r_{ij}|$ através de Heatmap's (mapas de calor,) representada pela densidade geográfica de pontos onde cada cor da célula corresponde ao valor de correlação de duas determinadas variáveis, sendo que cores azuis representam correlação positiva, enquanto cores vermelhas representam correlação negativa. Quanto mais escuro o vermelho, mais próximo do valor -1, e quanto mais escuro o azul, mais próximo do valor 1 (Deng *et al.*, 2014; Leland Wilkinson; Michael Friendly, 2009). A correlação foi realizada para as variáveis morfológicas em relação ao nanofertilizante.

Os procedimentos estatísticos foram realizados com auxílio dos softwares SISVAR Statistical Software v. 5.6 (Ferreira, 2014), Rbio (Bhering, 2017), Microsoft Excel[®] e. JASP V. 0.18.1 (JASP Team, 2023).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise de variância (Figura 2), mostraram a ocorrência de diferença estatística em todas as variáveis, exceto para o número de folhas (NF). O tratamento sem aplicação de nanofertilizante (T0) apresentou os menores valores médios nas variáveis H, D, NF, MSA, DMR, CMR e MST. Para as variáveis MSR e IQD o pior resultado ficou com a dose de 1,5ml (T3).

A análise de regressão (Figura 2) foi significativa para as mesmas variáveis que apresentaram significância na ANOVA, sendo os modelos de maiores valores de R^2 : linear positivo (H, D, NF, MSA, DMR e MST), quadrático positivo para CMR e quadrático negativo para MSR e IQD nos tratamentos com nanofertilizante em comparação ao tratamento sem nenhuma aplicação de adubação (T0).

A altura das mudas apresentou uma variação média de 13,3 cm entre os tratamentos com aplicação de nanofertilizante, em relação à testemunha, sendo a aplicação de 2 mL/muda o tratamento de maior valor médio. O incremento na altura das mudas de eucalipto foi de 61% em relação às mudas sem a aplicação de nanofertilizante. O diâmetro de coleto apresentou uma variação de 1,7mm entre o tratamento T4 (3,4 mm) em relação a T0 (1,7mm), 100% a mais, sendo também aplicação de 2 ml/muda, o melhor tratamento.

Já para as massas secas (parte aérea, raiz e total), a variação em relação à testemunha foi de: 0,6 g para a MSA, apresentando incremento de 20,7% para o tratamento com 1,5 ml de nanofertilizante por muda; 0,3 g para MSR, uma diferença 13,5% dos melhores tratamentos (T2 e T4) para os piores tratamentos (T1 e T3) e 0,4 g para MST, apresentando um incremento abaixo de 10% quando compara-se os melhores tratamentos (T3 e T4) com os piores tratamentos (T0 e T1).

O DMR apresentou maior diferença no incremento entre as variáveis analisadas, com 85,2% quando se compara o melhor tratamento (T4) com a testemunha (T0). Outra variável muito importante, o NF, também apresentou incremento acima de 80%, com destaque para tratamento com aplicação de 1,5 ml de nanofertilizante por muda (T3), com média de 32,7 folhas por muda, e o pior tratamento (T0), com 5,7 folhas por muda.

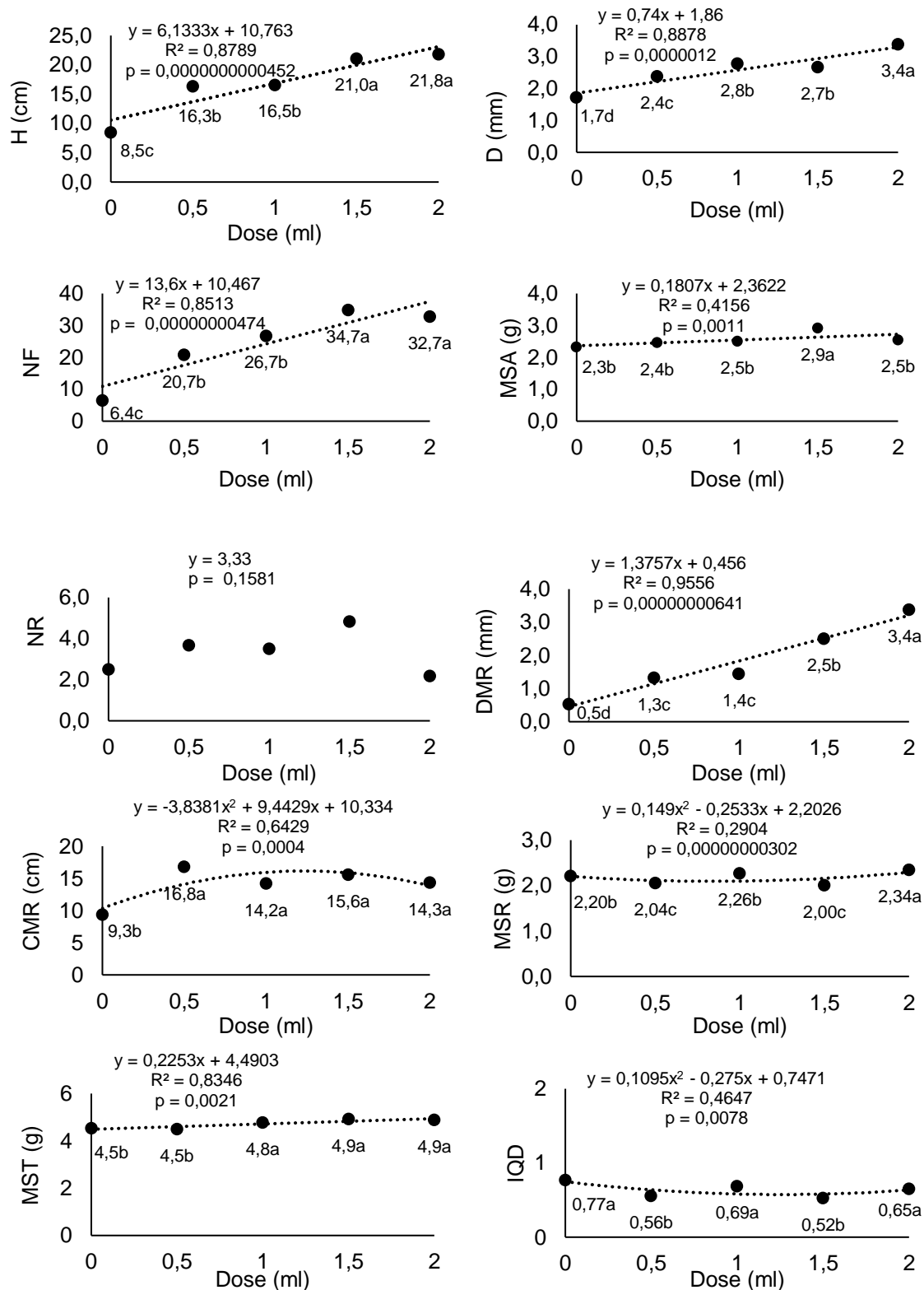


Figura 2. Comportamento das variáveis morfológicas de mudas de eucalipto às diferentes doses de nanofertilizante. H = altura da parte aérea; D = diâmetro do coleto; NF = número de folhas MSA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca das raízes; NR = número de raízes; CMR = comprimento médio das raízes; DMR = diâmetro médio das raízes; MST = massa seca total; IQD = Índice de qualidade de Dickson. R² = coeficiente de determinação. p = p-valor da anova. Médias seguidas pela mesma letra não se diferenciam pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

A H média obtida nos tratamentos com aplicação de nanofertilizante foi de 18,6 cm, ficando acima de valores encontrados por Silva et al. (2020) em *Eucalyptus urophylla* (15,3 cm) ao utilizar casca de café junto ao substrato e diferentes formulações de fertilizantes convencionais: cloreto de potássio (KCL) e monoamônio fosfato (MAP) na adubação de cobertura. Para o diâmetro do coleto, os autores encontraram média 2,15 mm, mostrando a superioridade do nanofertilizante.

Para mudas de *Eucalyptus grandis* com adubação de cobertura com ureia como fonte de N, foram encontrados valores de H variando entre 17 e 29 cm e D variando entre 2,2 e 2,9 mm, aos 90 dias após o plantio (SCHULZ, 2015), valores esses considerados próximos ao encontrados com o nanofertilizante.

Para os parâmetros do sistema radicular se verifica que o tratamento sem nenhuma aplicação de N (T0) não obteve diferença significativa comprimento de raiz. Para De Freitas; Barroso; Carneiro (2008) , as raízes são responsáveis pela absorção de água e nutrientes do solo, além de promoverem o ancoramento e a sustentação das plantas, podendo assim, o número de raízes, indicar a capacidade de absorção de nutrientes, ou seja, a necessidade pela procura de nutrientes possivelmente estimulou o crescimento de raízes em comprimento por igual.

O DMR foi superior nos tratamentos onde houve aplicação de nanofertilizante tendo sido obtido um incremento acima de 80%, no entanto a produção de raízes finas também é muito importante pois interfere tanto no incremento de biomassa, como na ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais (Mendes, 2018). O CMR também foi superior nos tratamentos com aplicação de nanofertilizante, com incremento superior a 40%. Essas duas variáveis são pouco mensuradas em trabalhos referentes a qualidade de mudas, no entanto são importantes do ponto de vista nutricional para as plantas.

Para a MSR o incremento obtido no melhor tratamento (T4), o incremento foi de apenas 6% em relação a testemunha e apesar de haver diferença estatística significativa o T0 obteve média igual ao tratamento com aplicação de 1 ml de nanofertilizante por muda. A MST, um dos cinco parâmetros para se obter o IQD, demonstrou um incremento de apenas 8,1%,

no entanto ao comparar as médias obtidas nos tratamentos com nanofertilizante (4,8 g) com estudos em *Eucalyptus urophylla* com aplicação de adubação convencional de N (1,7 g) (Silva, O. M. D. C. *et al.*, 2020), se mostrou superior.

A relação entre as variáveis de crescimento e o índice de qualidade de Dickson em *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliottii* mostrou que independentemente da espécie avaliada, a massa seca de raiz é a variável que apresenta maior efeito direto e indireto nas demais variáveis, afetando principalmente o IQD (Binotto, 2007), corroborando com o IQD obtido em T0, uma vez que a MSR deste tratamento foi superior a alguns tratamentos com aplicação de nanofertilizante.

Na avaliação do Índice de Qualidade de Dickson (IQD), o tratamento sem aplicação de N (T0) foi superior ao demais. De maneira geral, O índice de qualidade de Dickson (IQD) é amplamente empregado para avaliação da qualidade de mudas, e possui como vantagens a análise conjunta dos demais parâmetros morfológicos em uma única avaliação, considerando a robustez e o equilíbrio entre as características avaliadas e, quanto maior seu valor, maior é o grau de qualidade da muda (Aguiar *et al.*, 2011).

Ao comparar o IQD obtido tanto no tratamento sem aplicação de N (T0), com 0,77 e a média dos tratamentos com aplicação de N na forma de nanofertilizante (0,60) com estudo em *Eucalyptus urophylla*, com IQD médio de 0,18 em distintos tratamentos com adubação de cobertura convencional (Silva, O. M. D. C. *et al.*, 2020) se verifica a superioridade também do nanofertilizante.

Através da análise de correlação de Pearson (Figura 3), nota-se a ocorrência de significância ($p < 0,001 = ***$) maior que 80% entre as variáveis: H x DOSE (0,875), MSA x MST (0,86), NF x DOSE (0,873), NF x H (0,873) e DMR x DOSE (0,884). Os menores valores de correlação foram observados para: H x IQD (-0,611); IQD x NF (-0,451), MSA x MSR (-0,426) e MSR x CMR (-0,404).

Na produção de mudas de eucalipto com a aplicação de nanofertilizante foi verificado uma menor influência das características morfológicas do sistema aéreo em relação ao IQD. O sistema radicular, com exceção da MSR, também influenciou de maneira branda.

Ao correlacionar as variáveis da parte aérea com a dose se verifica uma forte correlação, acima de 80%, na H, D e NF. Já a MSA obteve correlação acima de 40% em relação à dose. Para as variáveis do sistema radicular em relação à dose, se verifica uma correlação acima de 80% apenas no DMR, o restante: NR, CMR e MSR ficou abaixo de 60%.

Ainda sobre a baixa correlação entre as doses de nanofertilizante o enraizamento, estudos realizados por Fachinello; Lucchesi; Gutierrez (1988), os autores relatam que ao passo que há diminuição das doses de nitrogênio, estacas de macieira aumentaram o enraizamento de maneira geral e Haissig (1986), corroborando com resultados da correlação de maneira geral.

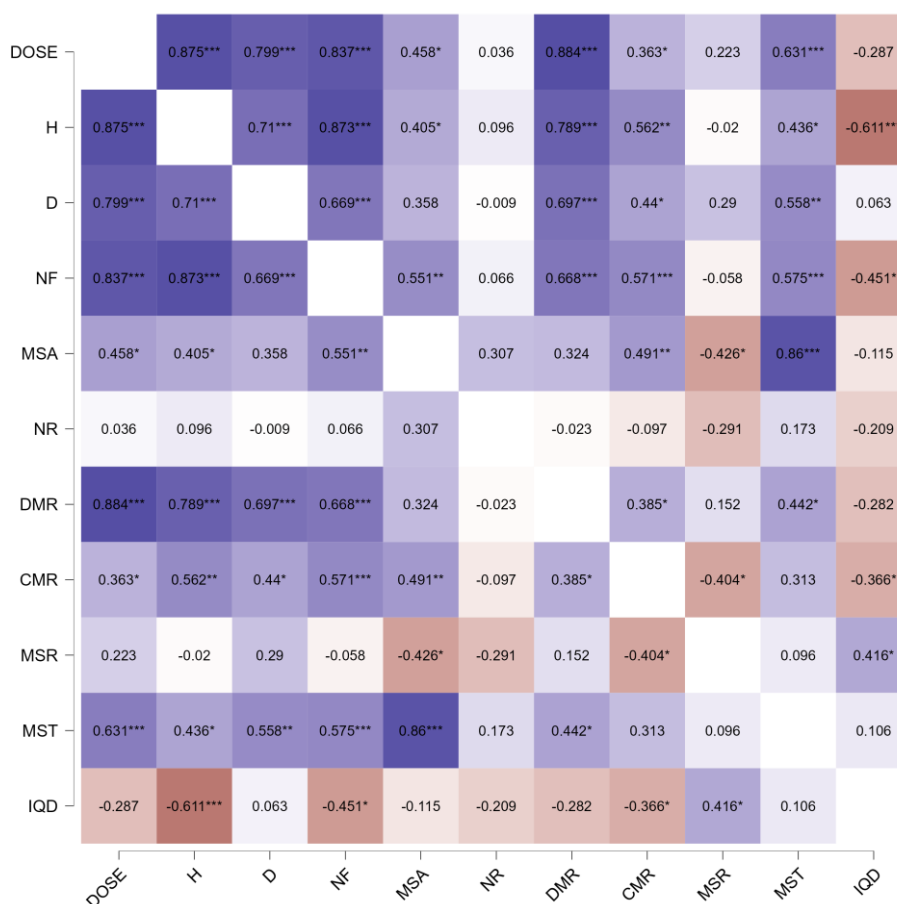


Figura 3. Representação gráfica da correlação de Pearson para variáveis morfológicas de eucalipto, com diferentes doses de nanofertilizante em adubação de cobertura. H = altura da parte aérea; D = diâmetro do coleto; NF = número de folhas MSA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca das raízes; CMR = comprimento médio das raízes; DMR = diâmetro médio das raízes; MST = massa seca total e IQD = índice de qualidade de Dickison. Nível de significância: * = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$ e *** = $p < 0,001$.

A Figura 4, mostra a partir da análise canônica, que o tratamento com a aplicação de 1,5 ml/muda (T3), elucida os maiores valores médios nas

variáveis: NF; CMR; MSA e NR. Das 10 variáveis estudadas, 8 foram superiores nos tratamentos em que houve aplicação de nanofertilizante. Os tratamentos T3 e T4 tiveram maior influência nos valores médios associados à parte aérea e raízes das mudas de eucalipto. De modo geral, as maiores dosagens de nanofertilizante propiciaram maiores valores médios.

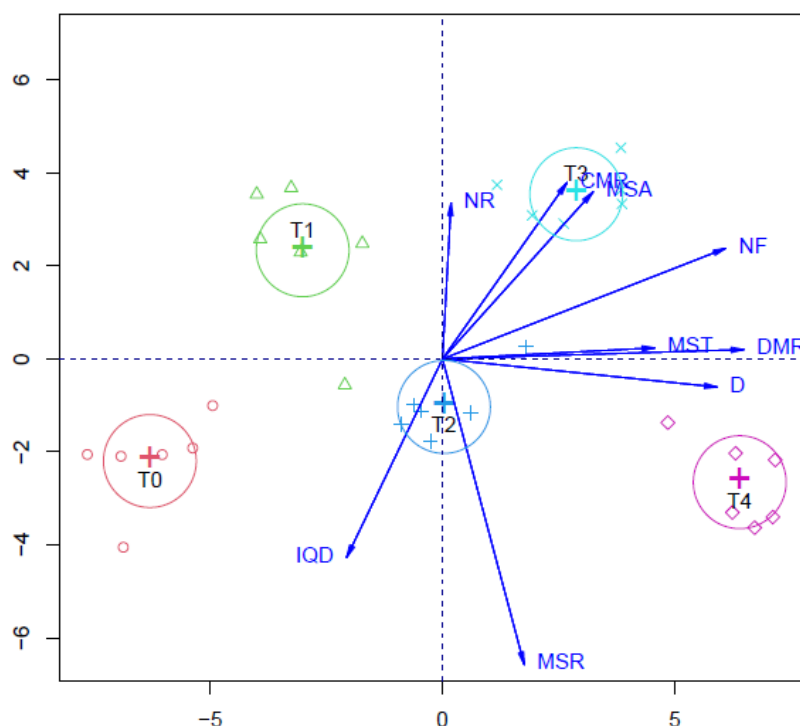


Figura 4. Representação gráfica das variáveis canônicas para variáveis morfológicas e de qualidade em mudas de erva-mate com aplicação de nanofertilizante. H = altura da parte aérea; D = diâmetro do coleto; NF = número de folhas MSA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca das raízes; CMR = comprimento médio das raízes; DMR = diâmetro médio das raízes; MST = massa seca total e IQD = índice de qualidade de Dickson.

O tratamento de nanofertilizante com maiores médias nas características morfológicas e de qualidade foi o com 2 ml/muda e o tratamento com adubação padrão do viveiro (TC) foram comparados entre si, visando obter a melhor fonte nutricional para mudas de eucalipto, as duas foram comparados entre si (Tabela 1).

Tabela 1. Médias dos melhores resultados dos aspectos morfológicos nos tratamentos de nanofertilizante e ureia em eucalipto.

TRATAMENTO	Dose	H	D	NF	MSA	NR	DMR	CMR	MSR	MST	IQD
T4 (Nano)	2ml	21,8 _a	3,4 _a	32,7 _a	2,54 _a	2,2 _a	3,4 _a	14,3 _a	2,3 _a	4,9 _a	0,65 _a
TC (Viveiro)	*	11,2 _b	1,8 _b	10,4 _b	2,43 _a	2,0 _a	0,7 _b	10,7 _b	2,2 _a	4,6 _a	0,63 _a

H = altura da parte aérea; D = diâmetro do coleto; NF = número de folhas MSA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca das raízes; NR = número de raízes; CMR = comprimento médio das raízes; DMR = diâmetro médio das raízes; MST= massa seca total; IQD = Índice de

qualidade de Dickson. Médias seguidas pela mesma letra não se diferenciam pelo teste f anova a 5% de probabilidade.

Através da síntese das diferentes análises aplicadas nas médias obtidas nos parâmetros morfológicos de eucalipto, se constata que a aplicação de N através do nanofertilizante na adubação de cobertura das mudas proporcionou aumento em algumas características, quando comparado a adubação tradicional utilizada pelo viveiro. De maneira geral, o nitrogênio proporciona relações positivas entre a sobrevivência e crescimento das plantas em viveiro bem como melhora o estado nutricional, sendo que ambos os fatores são importantes para o desempenho pós-plantio e a sobrevivência das mudas à campo.

Para muitos, a H é uma característica importante quando há a necessidade de plantio de mudas em áreas em que há plantas daninhas, a altura da espécie apresenta maior competitividade por luz. Assim, em muitos viveiros florestais, a altura é considerada um parâmetro para valoração das mudas para comercialização ao silvicultor, sendo usualmente utilizada para estimar seu padrão de qualidade (Gomes *et al.*, 2002).

Cabe ressaltar que a H é um bom parâmetro para se avaliar o padrão de qualidade de mudas florestais, uma vez que mudas com maior altura, normalmente, apresentam maior vigor, além de ser uma variável de fácil determinação e um método não destrutivo (PASQUETTI *et al.*, 2016; SOMAVILLA *et al.*, 2014). Para mudas do gênero *Eucalyptus* WENDLING & DUTRA (2010), determinam como altura mínima 15 cm, para plantio à campo.

O restante das variáveis: MSA, NR, MSR, MST e IQD não apresentaram diferença estatística significativa, porém todas as médias obtidas na aplicação de 2 ml de nanofertilizante por muda foram próximas ou superiores a adubação padrão utilizada no viveiro (Tabela 1).

Apesar das mudas de eucalipto apresentarem características morfológicas dentro dos padrões, a avaliação nutricional foliar de macro e micronutrientes é imprescindível, tendo em vista que aspectos morfológicos considerados dentro dos parâmetros mínimos exigidos podem esconder deficiências nutricionais.

Desta forma, foram apurados os conteúdos de macro e micronutrientes da parte aérea das mudas de eucalipto e constatou-se que eles foram influenciados pelos diferentes tipos de adubação de cobertura (Tabela 2). Através dos resultados da análise de variância, foi constatada a ocorrência de diferença estatística significativa em todas as variáveis nutricionais analisadas.

A utilização do nanofertilizante potencializou o uso da adubação de cobertura em eucalipto, permitindo ganhos nos conteúdos nutricionais das mudas clonais, principalmente Nitrogênio, com incremento de 28,6% em relação aos tratamentos sem aplicação de nutriente (T0) e adubação padrão viveiro (TC).

Tabela 2. Conteúdos de macro (g/Kg^{-1}) e micronutrientes (ppm) da parte aérea de mudas clonais de eucalipto com aplicação de nanofertilizante na adubação de cobertura

Nutriente	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
ZAPL	12 _b	2,89 _c	11,1 _a	16 _a	2,5 _b	0,3 _c	40,8 _a	112,9 _a	496,2 _a	432,1 _a	22,5 _b
NANO	16,8 _a	3,1 _b	9,3 _b	17 _a	2,9 _a	2,7 _a	38,8 _b	88,1 _b	279,4 _b	234,3 _b	21,9 _c
TC	12 _b	3,7 _a	8,0 _c	14 _b	2,9 _a	2,3 _b	33,4 _c	50,7 _c	217,0 _c	154,2 _c	26,8 _a

ZAPL= Nenhuma aplicação nutricional (T0); NANO = Nanofertilizante (T1, T2, T3 e T4); TC = Adubação padrão viveiro. N = nitrogênio; P = Fósforo; K = Potássio; Ca = Cálcio; Mg = Magnésio; S = Enxofre; B= Boro; Cu = Cobre; Fe = Ferro; Mn = Manganês; Zn = Zinco. Médias seguidas pela mesma letra não se diferenciam pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Ao confrontar os resultados obtidos para o N com diferentes estudos realizados em espécies distintas de *Eucalyptus* podemos considerar que o teor encontrado nos tratamentos com nanofertilizante ($16,8 \text{ g/Kg}^{-1}$) fica próximo a valores encontrados em estudos com e *Eucalyptus urophylla* com *E. grandis*, onde os valores 20 a 27 g/Kg^{-1} em concentrações médias de aplicação de N (Rocha *et al.*, 2013a).

De modo geral, a absorção de nitrogênio pelas plantas, quando ele se encontra em alta concentração, não é sujeita a regulação. Desse modo se pode inferir que o nanofertilizante está mais disponível para as mudas do que a adubação convencional do viveiro (Bredemeier; Mundstock, 2000).

Além disso, nanofertilizantes podem liberar nutrientes por um período de até 50 dias, enquanto os fertilizantes convencionais liberam nutrientes mais rapidamente, máximo 10 dias (Kahrl *et al.*, 2010; Kim, 2000; Seleiman *et al.*, 2020; Shang *et al.*, 2019; Usman *et al.*, 2020), tal fator traz uma vantagem principalmente quando se trata de micronutrientes, que são exigidos em menor

quantidade pela planta, dessa forma os mesmos podem ser liberados de forma lenta e gradativa.

Ademais, dados atuais estimam que cerca de 50% do nitrogênio, aplicados como fertilizantes não chegam às plantas, e são lixiviados para meio ambiente, resultando em impactos negativos no meio ambiente (Basavegowda; Baek, 2021b; Basit *et al.*, 2022; Fincheira *et al.*, 2021; Raliya *et al.*, 2018) aumentando também gastos com aplicações devido as perdas.

Em relação ao macronutriente P, os valores ficam próximos de valores encontrados por Rocha *et al.* (2019) em *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla* e *E. urograndis* variou de 3 a 4 g/Kg ao utilizar diferentes fontes de adubação. No entanto, cabe destacar que para a cultura de *Eucalyptus* são indicados teores de P entre 1 e 1,2 g/Kg⁻¹ (Martinez; Carvalho; Souza, 1999).

Para o macronutriente K, o maior valor ficou com o tratamento T0 com 11,1 g/Kg⁻¹, apresentando um incremento de 27,9% em relação ao tratamento TC (8,0 g/Kg⁻¹). Ao comparar esses valores aos encontrados por Rocha *et al.* (2019), com média de abaixo de 7 g/Kg⁻¹, verificamos certa superioridade. Para valores ideais em K, Martinez; Carvalho; Souza, (1999) relatam médias de 10 a 12 g/Kg⁻¹, ficando somente o T0 na faixa considerada ideal pelos autores.

Para Ca, Mg e S os valores encontrados ficam acima de 14; 2,5 e 0,3 g/Kg⁻¹ respectivamente. Ao comparar esses números com valores encontrados *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla* e *E. urograndis* ficam abaixo de 16; 3 e 2 g/Kg⁻¹ respectivamente (Rocha *et al.*, 2019), verificamos que Ca e Mg obtiveram valores próximos (14 e 2,5 g/Kg⁻¹), já S (0,3 g/Kg⁻¹) encontrado no T0 ficou demasiado abaixo. As faixas dos teores indicadas para cultura de *Eucalyptus* são 8 a 12 g/Kg⁻¹ para Ca, 4 a 5 g/Kg⁻¹ para Mg e 1,5 a 2 g/Kg⁻¹ para S (Martinez; Carvalho; Souza, 1999).

Para os micronutrientes B e Cu verificamos que o tratamento sem nenhuma aplicação de adubação obteve melhores médias 40,8 e 112,9 ppm respectivamente. Ao comparar esses resultados ao encontrados por Rocha *et al.* (2019), nas espécies *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla* e *E. urograndis* com médias abaixo de 50 e 20 mg/Kg verificamos que B ficou próximo e Cu demasiado acima.

Ao comparar com valores ditos ideais temos para B 35 a 70 ppm e para Cu 8 a 10 ppm (Martinez; Carvalho; Souza, 1999), podemos inferir que os

níveis de Boro são considerados ideais em T0 e Nano, e abaixo na adubação utilizada pelo viveiro (TC). Já para Cu, todos valores são considerados acima da faixa ideal descrita.

Para Fe e Mn, as maiores médias foram encontradas em T0 com 496,2 e 432,1 ppm respectivamente, e Zn o melhor tratamento foi a adubação padrão utilizada pelo viveiro (TC) com 26,8 ppm. Ao comparar os resultados encontrados com estudos em distintas espécies de *Eucalyptus* em que as médias encontradas para Fe, Mn e Zn foram 70, 420 e 28 ppm respectivamente. Verificamos, ao comparar os dados, que Fe ficou acima.

Cabe ressaltar que plantas submetidas a concentrações elevadas de Fe absorvem e acumulam grandes quantidades em seus tecidos, trazendo consigo sintomas típicos de toxicidade, como amarelecimento das folhas e escurecimento das raízes, causando severas reduções no crescimento e na produtividade das plantas (Arrivabene *et al.*, 2015; Chatterjee; Gopal; Dube, 2006; Greipsson; Crowder, 1992; Jucoski *et al.*, 2016; Siqueira-Silva *et al.*, 2012).

Para valores ideais de Fe, Mn e Zn têm-se 150 a 200 ppm, 100 a 600 ppm e 50 a 55 ppm respectivamente (Martinez; Carvalho; Souza, 1999). Ao observar os valores ideais podemos verificar que os valores verificamos que o TC e o nanofertilizante ficaram dentro da faixa considerada ideal para Fe. Já o Mn todos os tratamentos ficaram na faixa considerada ótima, e o Zn abaixo da faixa ideal em todos os tratamentos.

De modo geral, todos os macros e micronutrientes possuem papel fundamental para o desempenho da muda, em estudos com nanofertilizantes, aumentaram as concentrações de nutrientes na planta de forma que a produção de brotos e frutos também aumentou em comparação com aquelas cultivadas em fertilizante comercial convencionais (Ahmad *et al.*, 2023; Mahawar *et al.*, 2023; Vanti; Belur; Husen, 2023; Zulfiqar *et al.*, 2019c).

4. CONCLUSÕES

A aplicação de nanofertilizante arbolina através da adubação de cobertura promoveu características morfológicas e teores de macro e micronutrientes da parte aérea de mudas eucalipto consideradas satisfatórias. Principalmente em relação ao sistema radicular.

As mudas de eucalipto responderam de forma diferenciada ao nanofertilizante, sendo que as mudas que obtiveram melhores respostas estavam contidas no tratamento T4, com aplicação de 2 ml por muda.

A adubação com nanofertilizante pode ser indicada em substituição da adubação convencional utilizada pelo viveiro, uma vez que os parâmetros morfológicos e nutricionais foram muito próximos, devendo-se considerar a questão econômica.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABO EL-HAMD, A. S. A.; ABD ELWAHED, A. H. M. Improving the growth and yield of okra plants (*Abelmoschus esculentus* L.) using Lithovit fertilizer. **Academia Journal of Agricultural Research**, v. 6, n. 5 Conference Proceedings, p. 65–71, 2018.

AGUIAR, F. F. A. et al. Crescimento de mudas de pau-brasil (*Caesalpinia echinata* Lam.), submetidas a cinco níveis de sombreamento. **Revista Ceres**, v. 58, n. 6, p. 729–734, 2011.

AHMAD, F. et al. Influence of silicon nano-particles on *Avena sativa* L. to alleviate the biotic stress of *Rhizoctonia solani*. **Scientific Reports**, v. 13, n. 1, 1 dez. 2023.

PASQUETTI, A. L. B. et al. Growth of *Cordia trichotoma* seedlings in different sizes of recipients and doses of fertilizer. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 28, p. 2450–2455, 2016.

ANDRÉ, J. L. et al. Wood volume of *Eucalyptus* clones established under different spacings in the Brazilian Cerrado. **Forest Science**, v. 67, n. 4, p. 478–489, 2 ago. 2021.

ARRIVABENE, H. P. et al. Effect of pollution by particulate iron on the morphoanatomy, histochemistry, and bioaccumulation of three mangrove plant species in Brazil. **Chemosphere**, v. 127, p. 27–34, 2015.

BASAVEGOWDA, N.; BAEK, K. H. Current and future perspectives on the use of nanofertilizers for sustainable agriculture: the case of phosphorus nanofertilizer. **Biotech**, v. 11, n. 7, 2021.

BASIT, F. et al. Facile synthesis of nanomaterials as nanofertilizers: a novel way for sustainable crop production. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 29, n. 34, p. 51281–51297, 2022.

BATAGLIA, O. C. et al. **Métodos de análise química de planta**. Campinas, 1983.

BELLINI, C.; PACURAR, D. I.; PERRONE, I. Adventitious roots and lateral roots: similarities and differences. **Annu Rev Plant Biol.**, v. 65, p. 639–666, 2014.

BHERING, L. L. Rbio: A tool for biometric and statistical analysis using the R platform. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 17, n. 2, p. 187–190, 2017.

BINOTTO, A. F. **Relação entre variáveis de crescimento e o índice de qualidade de Dickson em mudas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maid e *Pinus elliottii* var. *elliottii* – Engelm.** Dissertação—Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2007.

- BÖHM, W. **Methods of studying root systems. ecological studies**, v. 33, 1979.
- BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C. M. Regulação da absorção e assimilação do nitrogênio nas plantas. **Ciência Rural**, v. 30, n. 2, p. 365–372, 2000.
- CARDOSO, M. R. D.; MARCUZZO, F. F. N.; BARROS, J. R. Classificação climática de Köppen-Geiger para o estado de Goiás e o Distrito Federal. **Acta geográfica**, v. 8, n. 16, p. 40–55, 2014.
- CASTRO, C. A. DE O. et al. Brief history of Eucalyptus breeding in Brazil under perspective of biometric advances. **Ciência Rural**, v. 46, n. 9, p. 1585–1593, 16 jun. 2016.
- CHATTERJEE, C.; GOPAL, R.; DUBE, B. K. Impact of iron stress on biomass, yield, metabolism, and quality of potato (*Solanum tuberosum* L.). **Scientia Horticulturae**, v. 108, n. 1, p. 1–6, 2006.
- DAVARPANA, S. et al. Effects of foliar applications of zinc and boron nano-fertilizers on pomegranate (*Punica granatum* cv. Ardestani) fruit yield and quality. **Scientia Horticulturae**, v. 210, p. 57–64, 2016.
- DE FREITAS, T. A. S.; BARROSO, D. G.; CARNEIRO, J. G. D. A. Dinâmica de raízes de espécies arbóreas: visão da literatura. **Ciência Florestal**, v. 18, n. 1, p. 133–142, 2008.
- DENG, W. et al. Heml: A toolkit for illustrating heatmaps. **PLoS ONE**, v. 9, n. 11, 2014.
- DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **The Forestry Chronicle** v. 36, n. 1, p. 10–13, 1 mar. 1960.
- DIMKPA, C. O. et al. Effects of manganese nanoparticle exposure on nutrient acquisition in wheat (*Triticum aestivum* L.). **Agronomy 2018, Vol. 8, Page 158**, v. 8, n. 9, p. 158, 21 ago. 2018.
- DIMKPA, C. O. et al. Addition-omission of zinc, copper, and boron nano and bulk oxide particles demonstrate element and size -specific response of soybean to micronutrients exposure. **Science of The Total Environment**, v. 665, p. 606–616, 2019.
- DOS SANTOS, J. A. et al. Morphophysiological changes by mepiquat chloride application in Eucalyptus clones. **Trees - Structure and Function**, v. 35, n. 1, p. 189–198, 2021.
- DOS SANTOS, S. M. S. et al. Modulation of the initial growth of *Eucalyptus* clones using paclobutrazol: when smaller is better. **Australian Journal of Crop Science**, v. 12, n. 04, p. 610–616, 2018.
- DRUEGE, U. et al. Molecular and physiological control of adventitious rooting in cuttings: phytohormone action meets resource allocation. **Annals of Botany**, v. 123, n. 6, p. 929–949, 24 jun. 2019.

ELSHEERY, N. I. et al. Zinc oxide and silicone nanoparticles to improve the resistance mechanism and annual productivity of salt-stressed mango trees. **Agronomy**, v. 10, n. 4, 2020.

FACHINELLO, J. C.; LUCCHESI, A. A.; GUTIERREZ, L. E. Influência do anelamento na nutrição e no enraizamento de estacas lenhosas do porta-enxerto "Malling-Merton 106." **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 23, n. 9, p. 1025–1031, 1988.

FAO. **World Food and Agriculture – Statistical Yearbook 2021**. Roma: FAO, 2021.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a guide for its bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciênc. agrotec.**, v. 38, 2014.

FERREIRA, E. M. et al. Determinação do tempo ótimo do enraizamento de miniestacas de clones de *Eucalyptus* spp. **Revista Árvore**, v. 28, n. 2, p. 183–187, 2004.

FINCHEIRA, P. et al. Nanotechnology advances for sustainable agriculture: current knowledge and prospects in plant growth modulation and nutrition. **Planta**, v. 254, n. 4, 2021.

GOMES, J. M. et al. Parâmetros morfológicos na avaliação de qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v. 26, n. 6, p. 655–664, 2002.

GREIPSSON, S.; CROWDER, A. A. Amelioration of copper and nickel toxicity by iron plaque on roots of rice (*Oryza sativa*). **Canadian Journal of Botany**, v. 70, n. 4, p. 824–830, 1992.

GUHA, T. et al. Fe₃O₄-urea nanocomposites as a novel nitrogen fertilizer for improving nutrient utilization efficiency and reducing environmental pollution. **Environmental Pollution**, v. 292, p. 118301, 2022.

HAISSIG, B. E. Metabolic processes in adventitious rooting of cuttings. **New Root Formation in Plants and Cuttings**, p. 141–189, 1986.

HARTMANN, H. T. et al. **Plant propagation principles and practices**. 7. ed. New Jersey: Prentice-Hall, 2002.

IBA. **Relatório anual IBÁ**. São Paulo: 2022.

JASP TEAM. **JASP Team**. 2023.

JUCOSKI, G. D. O. et al. Excesso de ferro sobre o crescimento e a composição mineral em *Eugenia uniflora* L. **Rev. Ciênc. Agron.**, v. 47, n. 4, p. 720–728, 2016.

KAHRL, F. et al. Greenhouse gas emissions from nitrogen fertilizer use in China. **Environmental Science & Policy**, v. 13, n. 8, p. 688–694, 2010.

KIM, Y. J. F.; HANSEN, A. Q. On-field Crop Stress Detection System Using Multi-spectral Imaging Sensor. **Agricultural and Biosystems Engineering**, v. 1, n. 2, p. 88–94, 2000.

LELAND WILKINSON; MICHAEL FRIENDLY. The history of the cluster heat map. **The American Statistician**, v. 63, n. 2, p. 179–184, 2009.

LEONE, G. F. **Estabelecimento de protocolo para controlar a manifestação de bactérias endofíticas no processo de multiplicação in vitro de eucalipto**. Dissertação—Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 2013.

LEONE, G. F. **Otimização da produção de mudas clonais de eucalipto com o uso de bioestimulantes**. Tese—Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 2019.

MAHAWAR, L. et al. Silicon nanoparticles: Comprehensive review on biogenic synthesis and applications in agriculture. **Environmental Research**, v. 232, 2023.

MARTINEZ, H. E. P.; CARVALHO, J. G.; SOUZA, R. B. Diagnose foliar. In: In: Ribeiro, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVARES, V. V. H. – Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação. 5. ed. Viçosa: p. 143–167.

MELLO, R. P. **Nutrição de plantas**. v. 2, São Paulo: Fundação Editora Unesp, 2020.

MENDES, L. DA S. S. **Dinâmica de raízes finas em relação à disponibilidade sazonal de nutrientes e de diferentes níveis de deposição úmida em florestas tropicais**. Tese—São José dos Campos: INPE, 2018.

PACURAR, D. I. et al. The arabidopsis cop9 signalosome subunit 4 (CSN4) is involved in adventitious root formation. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 1–12, 2017.

RALIYA, R. et al. Nanofertilizer for Precision and Sustainable Agriculture: Current State and Future Perspectives. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 66, n. 26, p. 6487–6503, 2018.

ROCHA, J. H. T. et al. Concentração de nutrientes e intensidade de cor verde em miniestacas de eucalipto. **Biosci. J**, v. 29, n. 6, p. 1848–1856, 2013.

ROCHA, S. A. et al. Crescimento e nutrição foliar de mudas de *Eucalyptus* sp. irrigadas com diferentes qualidades de água. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 37, n. 2, p. 141–151, 2019.

SCHULZ, D. G. **Adubação nitrogenada e aplicação de etileno ao final do ciclo de produção em mudas de *Eucalyptus grandis* Hill e *Luehea divaricata***. Tese—Marechal Cândido Rondon: Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2015.

SELEIMAN, M. F. et al. Nano-fertilization as an emerging fertilization technique: why can modern agriculture benefit from its use? **Plants** **2021**, v. 10, n. 1, p. 2, 2020.

- SHANG, Y. et al. Applications of nanotechnology in plant growth and crop protection: A review. **Molecules**, v. 24, n. 14, 2019.
- SHEORAN, P. et al. Enhancement of growth and yield, leaching reduction in *Triticum aestivum* using biogenic synthesized zinc oxide nanofertilizer. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 32, p. 101938, 2021.
- SILVA, O. M. D. C. et al. Potencial uso da casca de café como constituinte de substrato para produção de mudas de espécies florestais. **Ciência Florestal**, v. 30, n. 4, p. 1161–1175, 2020.
- SIQUEIRA-SILVA, A. I. et al. Iron plaque formation and morphoanatomy of roots from species of restinga subjected to excess iron. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 78, p. 265–275, 2012.
- SOMAVILLA, A. et al. Avaliações morfológicas de mudas de Cedro australiano submetidas a diferentes doses do fertilizante osmocote plus®. **Comunicata Scientiae**, v. 5, n. 4, p. 493–498, 2014.
- STEFFENS, B.; RASMUSSEN, A. The physiology of adventitious roots. **Plant Physiology**, v. 170, n. 2, p. 603–617, 2016.
- TEMKIN, A. et al. Exposure-based assessment and economic valuation of adverse birth outcomes and cancer risk due to nitrate in united states drinking water. **Environmental Research**, v. 176, p. 108442, 1 set. 2019.
- USMAN, M. et al. Nanotechnology in agriculture: Current status, challenges and future opportunities. **Science of the Total Environment**, v. 721, 2020.
- VANTI, G.; BELUR, S.; HUSEN, A. Use of nanomaterials in agricultural sectors. **Advances in Smart Nanomaterials and their Applications**, p. 445–467, 2023.
- WENDLING, I.; DUTRA, L. F. Produção de mudas de eucalipto por sementes. In: WENDLING I. & DUTRA L. F. In: **Produção de mudas de eucalipto**. Colombo: Embrapa Florestas, 2010. p. 13–47.
- ZULFIQAR, F. et al. Nanofertilizer use for sustainable agriculture: Advantages and limitations. **Plant Science**, v. 289, p. 110270, 2019.

CAPÍTULO 2

ACLIMATIZAÇÃO *EX VITRO* DE MUDAS MICROPROPAGADAS DE BAMBU COM A APLICAÇÃO DE NANOFERTILIZANTE E UREIA EM ADUBAÇÃO DE COBERTURA EM VIVEIRO.

1. INTRODUÇÃO

Devido à escassez mundial de matéria-prima de base fibrosa, bambus têm se destacado positivamente como novas alternativas para diferentes tipos de indústrias, que vão desde a produção de papel e celulose, energia, biocombustível, extração de amido, construção civil, bioengenharia, movelaria, produtos farmacêuticos, alimentícios (Komatsu *et al.*, 2011; Park *et al.*, 2020; Singh *et al.*, 2013; Zhang *et al.*, 2019), instrumentos musicais, produtos para casa e cozinha entre outros.

Estudos demonstram resultados satisfatórios em cultivos de bambu, principalmente na produção de biomassa, onde destacam-se os gêneros *Dendrocalamus* e *Guadua*, ambos com alta potencialidade para a utilização em plantios comerciais, devido as suas adaptabilidades as condições climáticas e crescimento satisfatório, entretanto, são limitadas as pesquisas referentes à mecanismos de (Mudo *et al.*, 2013). A obtenção de mudas de bambus é feita, em suma maioria, por propagação vegetativa através da divisão de touceiras, porções dos rizomas, secções dos colmos, e de forma sexuada através das sementes (Islam *et al.*, 2011; Liebsch; Reginato, 2009).

Outra forma de propagação assexuada que vem ganhando espaço atualmente é a micropropagação, uma vez que apresenta diversas vantagens sobre as formas de propagações citadas anteriormente, sendo que através dela é possível a multiplicação do material vegetal de forma homogênea, em larga escala, com espaço físico reduzido, e a qualquer período do ano (Ghimire *et al.*, 2022; Kaur *et al.*, 2022; Kozai; Kubota, 2005; Kozai; Kubota; Jeong, 1997; Liu *et al.*, 2022), bem como região geográfica, independente das

condições climáticas, uma vez que as condições do cultivo *in vitro* são totalmente controladas.

Deste modo, após todo processo de multiplicação através da micropropagação, e posterior enraizamento, as mudas são submetidas à aclimatização, ou seja, transferidas do ambiente *in vitro* para o *ex vitro*, caracterizando-se com uma das etapas mais importante do processo, e deve ser realizada de forma gradual, uma vez que as mudas apresentam estruturas anatômicas frágeis, baixas taxas de fotossíntese e com raízes operando parcialmente suas funcionalidades (Júnior *et al.*, 2011; Maleki Asayesh *et al.*, 2017; Solís-Zanotelli *et al.*, 2022), configurando assim a etapa de maior gargalo na cultura de tecidos.

Assim, para que haja um maior índice de sobrevivência bem como crescimento satisfatório, na troca de ambiente, deverão ser traçadas estratégias a fim de potencializá-las, como o substrato a ser utilizado, forma e tempo de irrigação o fornecimento dos nutrientes (Trazzi *et al.*, 2012) sendo necessário desenvolver e aperfeiçoar técnicas relacionadas ao estágio final na produção de mudas de bambu com qualidade prontas para serem levadas à campo para o plantio em larga escala. Assim, os nanofertilizantes tornam-se uma fonte viável para a adaptação e crescimento das mudas de bambu oriundas da cultura de tecidos, uma vez que possuem certa fragilidade ao sair do ambiente *in vitro*, e diversos trabalhos evidenciam a superioridade do nanofertilizante em diversos aspectos quando comparamos com as fontes de adubação convencionais existentes no mercado.

Nanofertilizantes têm sido aplicados nas mais diversas culturas, onde crescimento da produtividade mostram-se favorável como é o caso da produção de milho, onde Tarafdar *et al.* (2014) aplicando nanofertilizante de zinco via foliar verificaram a melhora na extensão do caule (15,1%), comprimento da raiz (4,2%) e área da raiz (24,2%), biomassa seca da planta (12,5%), rendimento de grãos (37,7%) e absorção de zinco pela planta (10,4%) quando comparado com o controle (zinco comum). Em distintas culturas Kumar *et al.* (2022a), testando a aplicação de nanofertilizantes de nitrogênio e zinco e comparando com o método de agricultura orgânica verificaram um aumento no rendimento médio de trigo (5,35%), gergelim (24,24%), milho (4,2%) e mostarda (8,4%).

Tais estudos, com distintas espécies, evidenciam a superioridade dos nanofertilizantes quando confrontados aos fertilizantes químicos convencionais e orgânicos. Tal fato se deve principalmente ao tamanho ultra reduzido dos nanofertilizantes, que possuem uma alta área de superfície fazendo com que haja um aumento da capacidade de absorção e retenção pelas plantas quando comparados com fertilizantes químicos tradicionais. Por terem área de superfície maior possuem mais nutrientes, liberando-os de forma gradual de acordo com as necessidades da planta (Hussain *et al.*, 2022).

Os nanofertilizantes possuem ação prolongada, liberando nutrientes em até 50 dias, enquanto os fertilizantes convencionais liberam nutrientes mais rapidamente, no máximo 10 dias (Kahrl *et al.*, 2010; Kim, 2000; Seleiman *et al.*, 2020; Shang *et al.*, 2019; Usman *et al.*, 2020). Deste modo, verifica-se que nos sistemas convencionais de manejo de nutrientes, grande parte dos fertilizantes aplicados são perdidos por lixiviação, ou até mesmo tornando-se indisponíveis para a planta devido à disponibilidade excessiva e de forma muito rápida dificultando a absorção pelas raízes causando até mesmo efeitos tóxicos na planta (Zulfiqar *et al.*, 2019b).

Desta forma, o Capítulo 2 irá tratar da avaliação do efeito de diferentes doses nanofertilizantes e ureia na aclimatização *ex vitro* de mudas de bambu do gênero *Guadua*, a partir da avaliação de suas características morfológicas, análise química foliar e análise de lixiviação dos nutrientes.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local de implantação do experimento

O experimento 2 foi desenvolvido no Centro de Referência em Conservação da Natureza e Recuperação de Áreas Degradadas (CRAD) da Universidade de Brasília (UnB), Campus Darcy Ribeiro em Brasília, Distrito Federal, coordenadas 15°46'16''S e 47°52'03''W.

O clima, segundo Köppen e Geiger é classificado como Aw, caracterizado por duas nítidas estações: uma seca durante o inverno e outra chuvosa no verão. A temperatura média é de 21.7 °C e a pluviosidade média anual é 1443 mm (Cardoso; Marcuzzo; Barros, 2014). O experimento foi conduzido do período de janeiro a abril de 2023.

2.2 Mudanças, recipientes e substrato

As mudas de bambu foram doadas pelo Laboratório de Cultura de Tecidos II (LCTII) da Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, onde são multiplicadas através da clonagem e cultivadas *in vitro*. Oriundas de projetos de pesquisa, as mudas fornecidas, já passaram por um período de pré-aclimatização, realizada através da remoção das plantas dos frascos de cultivo, retirada do resíduo de meio de cultivo através da lavagem das raízes, individualização das plantas, poda das raízes, e transplante para recipiente contendo substrato.

O substrato utilizado pela equipe do LCTII consiste na mistura de substrato comercial (Bioplant®) juntamente com areia lavada, na proporção 3:1. As mudas foram pré-aclimatizadas por quatro semanas em câmaras de crescimento com temperatura, fotoperíodo e radiação controlados (25±1°C; 20 µmol. m⁻².s⁻¹; 12 horas, respectivamente).

Para o plantio, as mudas foram repicadas utilizando o método de seccionamento do rizoma, uma vez que é indicado para espécies de bambu alastrantes e/ou entouceirantes (Rajput *et al.*, 2020; Singh; Kumar; Ansari, 2004),

e em seguida, acondicionadas em casa de vegetação, com irrigação por aspersão controlada e adubação periódica.

Os recipientes utilizados foram sacos plásticos de 25X15 cm. O substrato utilizado foi da marca Maxfértil®, com a seguinte composição: casca de pinus, cinzas, vermiculita, turfa serragem e bioestabilizados, contendo 0,5% de corretivos de acidez, 0,5% de fosfato natural e 0,6% de fertilizante mineral N-P-K. Possui densidade de 310 Kg/m³, pH de 6 +/- 0,5, condutividade elétrica de 0,5 +/- 0,30 ms/cm e uma capacidade de retenção de água de até 90%.

2.3 A Instalação do experimento

O experimento foi instalado em casa de vegetação com irrigação por microaspersão controlada, com lâmina d'água 12mm, distribuída em três períodos ao longo do dia. O delineamento foi o inteiramente casualizado (DIC), com nove tratamentos (doses de nanofertilizante e ureia) composto por 6 mudas cada. Os tratamentos foram a testemunha com 0 ml (T0), quatro doses nanofertilizante (diluído à 10%): 2, 4, 6 e 8 ml denominados T1, T2, T3 e T4 respectivamente, e 30 ml de ureia diluída na proporção de 2, 4, 6 e 8 g por litro de água, denominados: T5, T6, T7 e T8 respectivamente, por muda. A aplicação foi realizada através de pipeta dosadora diretamente no recipiente de maneira individual, a cada sete dias, durante o período de 120 dias.

2.4 Análise dos resultados

2.4.1 Avaliação das características morfológicas

Para avaliação das características morfológicas foram utilizados métodos descritos por Böhm (1979), onde serão descritos a altura da parte aérea (H), em centímetros, obtida com auxílio de régua graduada; o diâmetro do coleto (D), em milímetros, obtido com auxílio de paquímetro digital; o número total de folhas (NF), obtido através da contagem simples; a massa

seca da parte aérea (MSA), em gramas, a massa seca das raízes (MSR) em gramas, e a massa seca total (MST) em gramas. Ambas foram obtidas através da secagem do material em estufa com temperatura variando entre 65°C e 75°C até atingirem peso constante, e posterior pesagem em balança analítica de precisão (0,001 g).

2.4.2 Teores de macro e micronutrientes foliares

A avaliação dos teores de macro e micronutrientes foi realizada de maneira composta, de forma que o material da parte aérea das mudas (brotos e folhas) foram destacados das raízes e homogeneizados de acordo com a adubação utilizada, ou seja, nenhuma adubação, nanofertilizante e ureia, e em seguida colocados em sacos de papel e acondicionados em estufa, com temperatura variando entre 65°C e 75°C até atingirem peso constante. Após, a massa seca foi moída em moinho tipo Willey, e determinados os teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S) e micronutrientes (Fe, Zn, Mn, Cu e B), seguindo a metodologia descrita por Bataglia et al. (1983).

2.4.3 Lixiviação de nutrientes

Para determinação da lixiviação de nutrientes, aos 120 dias, foram coletadas amostras de água lixiviada de 10 mudas por tratamento, durante 3 dias após a aplicação da adubação. As amostras foram homogeneizadas, de acordo com o nutriente utilizado, ou seja, nenhuma adubação, nanofertilizante e ureia e levadas ao laboratório para a determinação do pH. Também foram determinadas a concentração de carbono orgânico seguindo metodologia descrita por Allison (1960), e a de nitrogênio pela metodologia descrita em APHA – American public health association (1995).

2.5 Análise estatística

Os dados preliminares foram submetidos diferentes análises, incluindo a descritiva (média e desvio padrão), seguida dos testes de normalidade

(Shapiro-Wilk), e homogeneidade (Bartlett). Depois de verificada a homogeneidade e normalidade dos dados, as variáveis morfológicas e nutricionais das mudas foram submetidas à análise de variância da regressão polinomial ($\alpha=0,05$), utilizando-se as médias de cada tratamento. A equação de regressão selecionada foi correspondente à regressão significativa de mais alto grau ($p<0,05$). Caso constatada a significância entre as interações dos fatores testados, as médias foram submetidas ao teste de Scoth & Knott.

As doses de nanofertilizante e ureia foram agrupadas, por meio da análise de variáveis canônicas. Essa análise é um procedimento estatístico multivariado, que avalia o grau de similaridade entre elementos amostrais (doses de nanofertilizante e ureia), levando em consideração a matriz de covariância residual, ou seja, a variação entre as repetições, além da média das variáveis.

O objetivo principal dessa análise foi simplificar a estrutura dos dados, de forma que a dispersão entre os tratamentos representados por um conjunto p-dimensional (sendo que p representa o número de variáveis avaliadas), possa ser avaliada por um conjunto bidimensional de fácil interpretação, permitindo o agrupamento entre os tratamentos (CRUZ; REGAZZI, 1994; TRUGILHO, 1995). Essa análise foi realizada para as variáveis morfológicas em relação ao nanofertilizante e ureia.

De maneira complementar, as doses de nanofertilizante e ureia, foram correlacionados com as médias das variáveis morfológicas, nutricionais e lixiviação através correlação de Pearson $|r_{ij}|$ através de Heatmap's (mapas de calor) representada pela densidade geográfica de pontos onde cada cor da célula corresponde ao valor de correlação de duas determinadas variáveis, sendo que cores azuis representam correlação positiva, enquanto cores vermelhas representam correlação negativa. Quanto mais escuro o vermelho, mais próximo do valor -1, e quanto mais escuro o azul, mais próximo do valor 1 (Deng *et al.*, 2014; Leland Wilkinson; Michael Friendly, 2009). A correlação foi realizada para as variáveis morfológicas em relação ao nanofertilizante e ureia.

Os procedimentos estatísticos foram realizados com auxílio dos softwares SISVAR Statistical Software v. 5.6 (Ferreira, 2014), Rbio (Bhering, 2017), Microsoft Excel[®] e JASP V. 0.18.1 (JASP Team, 2023).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise de variância (Figura 5), mostraram a ocorrência de diferença estatística nas variáveis: diâmetro da touceira (D); nas massas secas da raiz (MSR) e total (MST). Nas que apresentaram significância, o tratamento sem aplicação de nanofertilizante apresentou os menores valores médios. Através da análise de regressão nos tratamentos com aplicação de nanofertilizante se verificou, para as mesmas variáveis que apresentaram significância na ANOVA, modelos de maiores valores de R^2 lineares positivos nos tratamentos D, MSR e MST.

A altura das mudas apresentou uma variação média de 40 cm entre os tratamentos com aplicação de nanofertilizante, em relação à testemunha, sendo a aplicação de 2 mL/muda o tratamento de maior valor médio. O incremento na altura das mudas foi de 47% em relação às mudas sem a aplicação do nano. O diâmetro da touceira apresentou uma variação média entre os tratamentos acima de 40%, quando comparados os tratamentos com aplicação de nanofertilizante em relação à testemunha. O melhor resultado foi obtido no tratamento com aplicação de 6 ml/muda, com 6,11 cm. Já para as massas secas (parte aérea, raiz e total), a variação em relação à testemunha foi de: 16,6 g para a MSA; 53,5 g para MSR, e 70,1 g para MST.

Os resultados encontrados corroboram com Hartmann et al. (2017), que ao relacionar a capacidade de enraizamento e crescimento vegetativo de diferentes espécies com a aplicação de adubação à base de carbono e nitrogênio, detectaram que uma alta relação entre os dois nutrientes proporciona maior enraizamento.

Os resultados encontrados para as variáveis de massa seca corroboram com estudos realizados por Alves De Oliveira et al. (2008), que ao estudar diferentes doses de nitrogênio em mudas de bambu, constataram comportamento linear positivo para as variáveis referentes a biomassa das mudas.

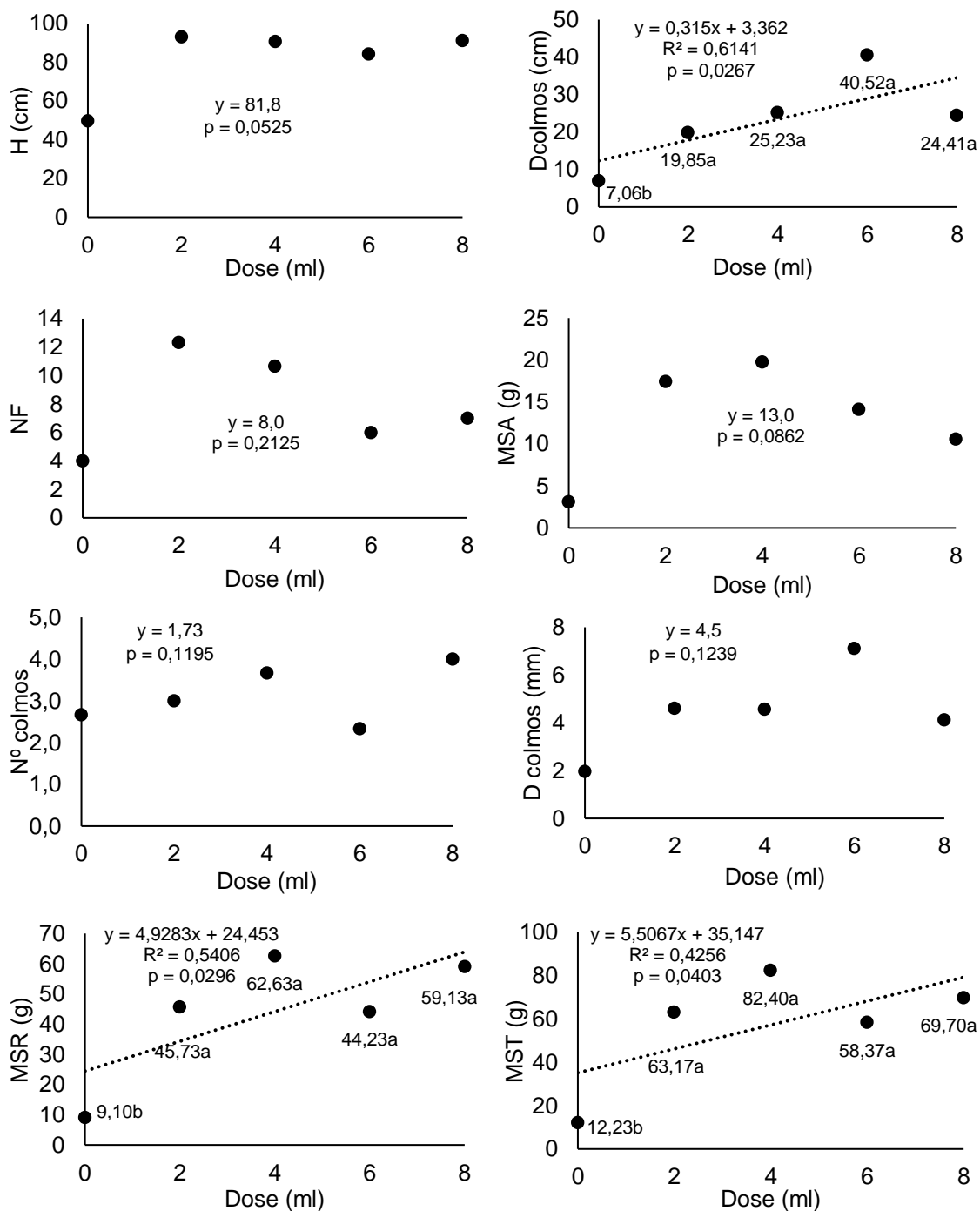


Figura 5. Comportamento das variáveis morfológicas de mudas de *Guadua angustifolia* às diferentes doses de nanofertilizante. H = altura da parte aérea; D touceira = diâmetro da touceira; NF = número de folhas; MSA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca das raízes; D colmos = diâmetros dos colmos; N colmos = número de colmos; MST = massa seca total. R² = coeficiente de determinação. p = p-valor da anova. Médias seguidas pela mesma letra não se diferenciam pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

De maneira geral, a adubação nitrogenada é bastante empregada em plantios comerciais, em especial em viveiros. Estudos de adubação com fertilizantes nitrogenados apontam que ao passo que em há o aumento das doses, até determinado ponto, há o crescimento do sistema radicular juntamente com a parte aérea e o restante das características morfológicas (Amri *et al.*, 2010; Dias *et al.*, 2012; Kettenhuber; Sousa; Sutili, 2019; Monteiro *et al.*, 2010), algo que pode ser observado tanto no D e na massa seca das raízes e total, nos tratamentos em que houve aplicação de nanofertilizante.

Nos tratamentos onde houve aplicação de ureia foi constatado através de análise de variância que as doses de aplicadas foram significativas para as variáveis H (altura da planta), e as massas secas da parte aérea (MSA), raízes (MSR) e total (MST). As variáveis, H, MSR e MST apresentaram comportamento quadrático positivo. A variável MSA apresentou comportamento linear positivo. As demais variáveis apresentaram p-valor maior que 5% de significância (Figura 6).

Os melhores valores para os tratamentos com adubação convencional via ureia ficaram com doses médias, com destaque para 4 g/L que ficando com valores acima dos demais tratamentos em que a adubação convencional foi utilizada em 90% das variáveis analisadas. Em estudos com hidrogel, adubação e substratos distintos, em bambu, é verificado comportamento semelhante, em que doses médias são as que obtiveram resultados melhores nos aspectos morfológicos (Alves De Oliveira *et al.*, 2008; Azzini; Salgado, 1993; Fonseca, 2007; Maia *et al.*, 2022; Mendes *et al.*, 2010b; Vamil; Agnihotri; Sharma, 2011).

O bambu é considerado uma planta pouco tolerante a baixa fertilidade do local onde habita, no entanto há muito pouco conhecimento referente a resposta em relação ao crescimento do bambu em razão da adubação (José Raimundo Luduvico de Sousa, 2018; Pereira; Beraldo, 2016).

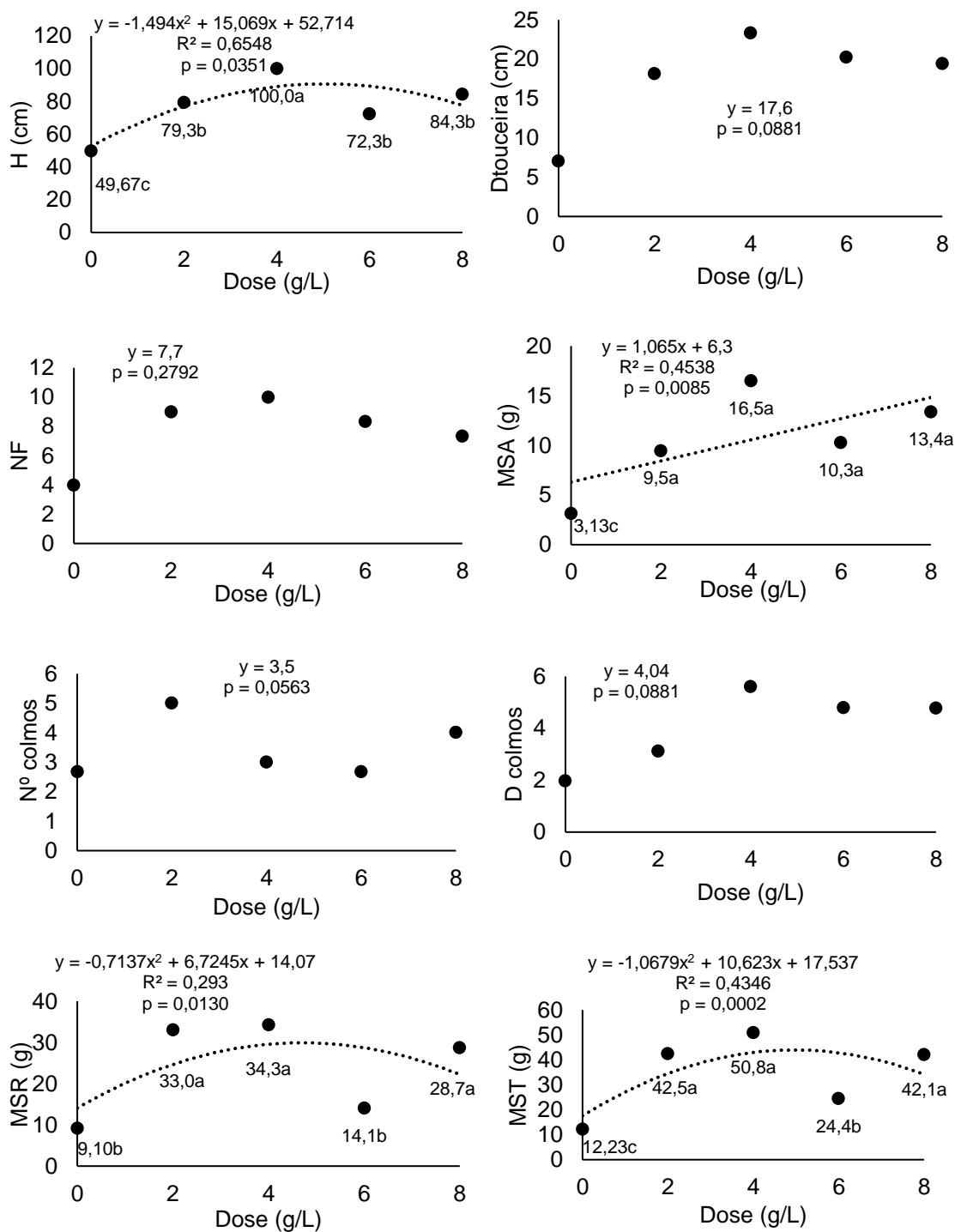


Figura 6. Comportamento das variáveis morfológicas de mudas de *Guadua angustifolia* às diferentes doses de ureia. H = altura da parte aérea; Dtouceira = diâmetro da touceira; NF = número de folhas MSA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca das raízes; Dcolmos = diâmetros dos colmos; Ncolmos = número de colmos; MST= massa seca total. R^2 = coeficiente de determinação. p = p-valor da anova. Médias seguidas pela mesma letra não se diferenciam pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Através da análise de correlação de Pearson (Figura 7), verificou-se também a ocorrência de significância ($p < 0,001 = ***$) entre as variáveis: MSR x MST (0,988) e MSA x MST (0,889). Os menores valores de correlação foram observados para: Dcolmos x Ncolmos (-0,321) e NF e Ncolmos (-0,095). Na aclimação de mudas de *Guadua angustifolia*, as doses de nanofertilizante influenciaram significativamente ($p < 0,05$) o diâmetro da touceira e a massa seca das raízes.

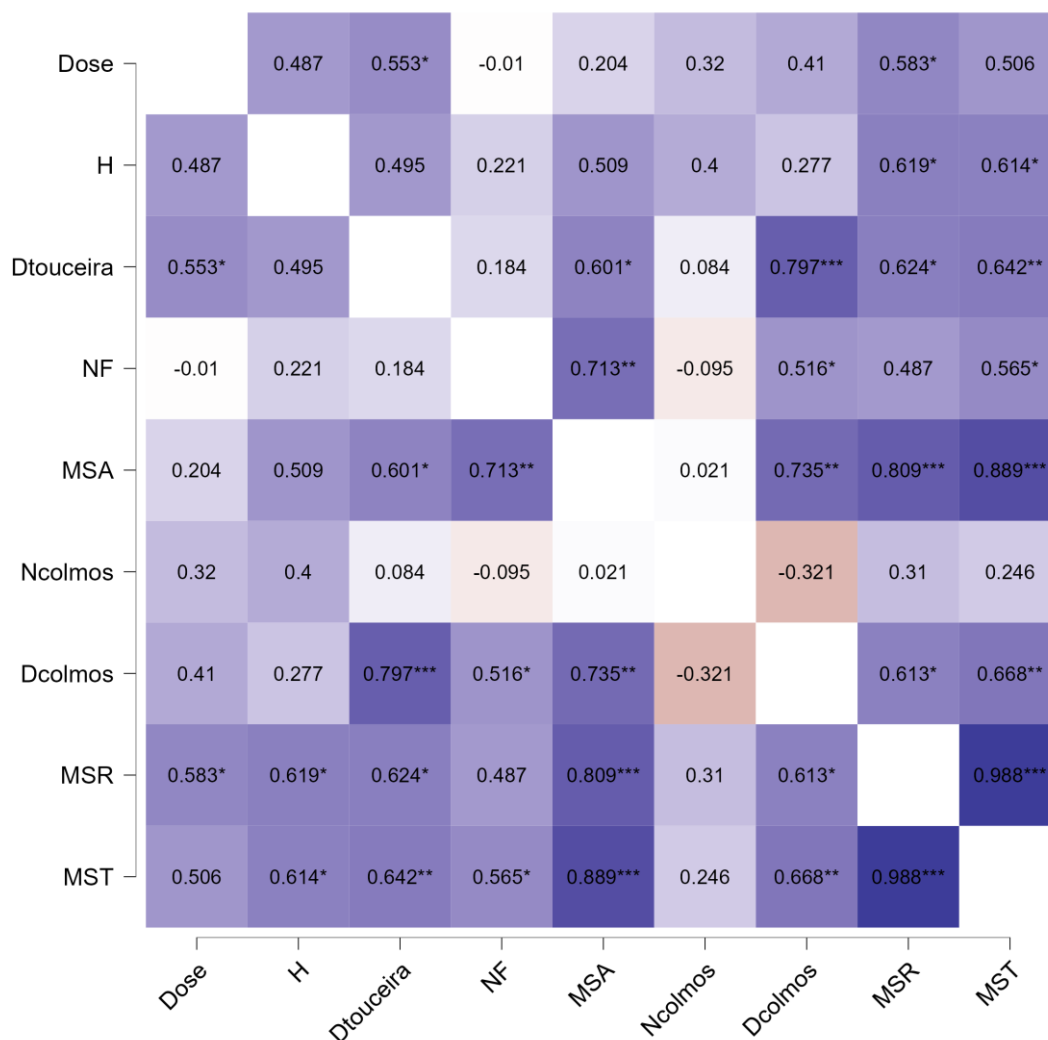


Figura 7. Representação gráfica da correlação de Pearson para variáveis morfológicas de erva-mate, com diferentes doses de nanofertilizante em adubação de cobertura. H = altura da parte aérea; D = diâmetro do coleto; NF = número de folhas MSA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca das raízes; CMR = comprimento médio das raízes; DMR = diâmetro médio das raízes; MST = massa seca total. Nível de significância: * = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$ e *** = $p < 0,001$.

Nos tratamentos com aplicação de ureia, a análise de correlação de Pearson (Figura 8), apresentou correlações significativa $p < 0,001$ nas variáveis MSR x MST (0,943), MST x IQD (0,860), MSA x H (0,938) e MSA x NF (0,768).

Os resultados obtidos na correlação entre a massa seca da parte aérea e a total corroboram com estudos realizados por Galarça et al. (2010), relatando que quanto maior o número de folhas e galhos maior é a produção de massa seca total.

O nitrogênio é um dos elementos base para o desenvolvimento das plantas, auxiliando de forma majoritária na formação da qualidade nutricional, participando de diferentes atividades da vida vegetal como formação de clorofila e principalmente o crescimento em geral (Aliyu *et al.*, 2008; Yang *et al.*, 2022), o que pode ser constatado na correlação entre Dose x MSA (0,570), sendo significativa a 5% de probabilidade.

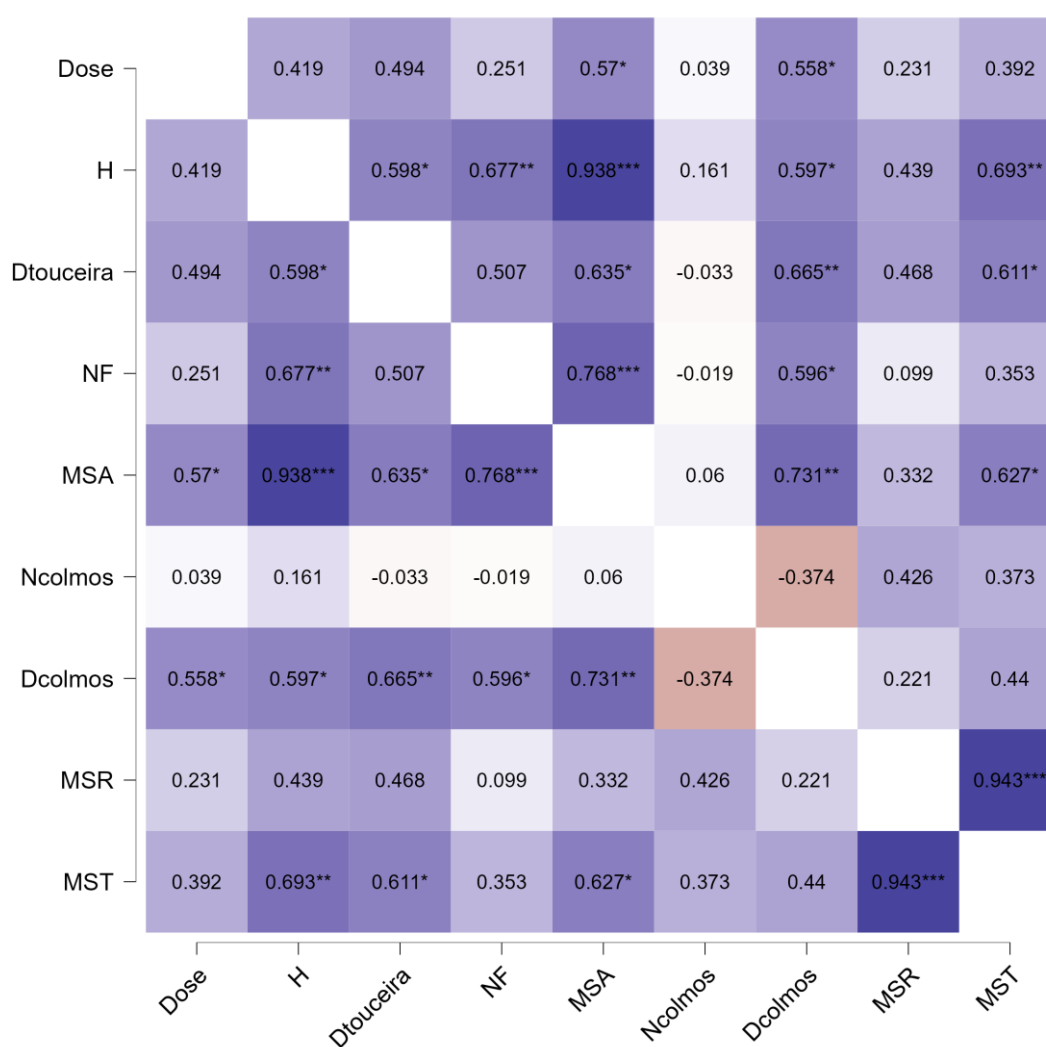


Figura 8. Representação gráfica da correlação de Pearson para variáveis morfológicas de erva-mate, com diferentes doses de ureia em adubação de cobertura. H = altura da parte aérea; D = diâmetro do coleto; NF = número de folhas MSA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca das raízes; CMR = comprimento médio das raízes; DMR = diâmetro médio das raízes; MST = massa seca total. Nível de significância: * = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$ e *** = $p < 0,001$.

A Figura 9, mostra a partir da análise canônica, que o tratamento com a aplicação de 6 ml/muda, elucida os maiores valores médios nas variáveis: H, Ncolmos, MSA e MSR. Das 9 variáveis analisadas, 4 foram superiores no tratamento com aplicação de nanofertilizante (T4), sendo que tanto o diâmetro da touceira quanto o diâmetro dos colmos ficaram situados entre os tratamentos T4 e T3. Em relação ao número de folhas, os tratamentos com menores doses de nanofertilizante demonstraram maior influência na parte aérea e sistema radicular.

O tratamento sem aplicação de adubação (T0), não teve influência sobre as variáveis associadas à parte aérea, nem nas de sistema radicular, evidenciando o quanto a adubação de cobertura com nanofertilizante proporcionou ganhos no crescimento e na qualidade das mudas de *Guadua angustifolia*.

As variáveis morfológicas e os índices utilizados para avaliação da qualidade das mudas podem ser utilizados isoladamente ou em conjunto, para classificação do padrão da qualidade de mudas, desde que sejam empregados em mudas desenvolvidas em condições de ambiente semelhantes (Lopes *et al.*, 2013).

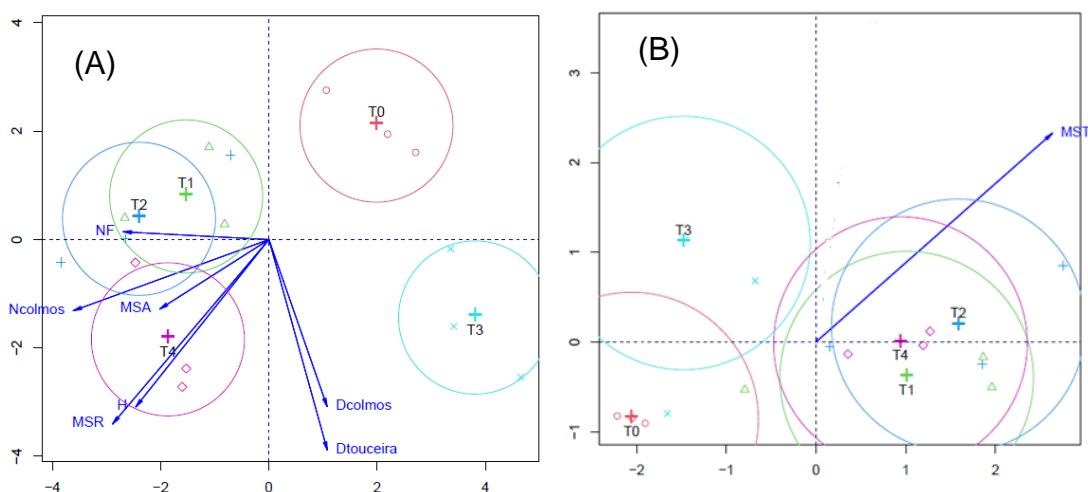


Figura 9. Representação gráfica das variáveis canônicas para variáveis morfológicas (A) e de qualidade (B) em mudas de *Guadua angustifolia* com aplicação de nanofertilizante. H = altura da parte aérea; Dtouceira = diâmetro da touceira; NF = número de folhas MSA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca das raízes; Ncolmos = números de colmos; Dcolmos = diâmetro dos colmos; MST = massa seca total.

A análise de variáveis canônicas, nos tratamentos com aplicação de ureia (Figura 10), indicou que as variáveis MSA, MSR, Dtouceira, NF e Dcolmos foram bastante influenciadas por doses mais altas de N, 8 g/L⁻¹ (T8).

O número de colmos sofreu maior influência para doses mais baixas (2 g/L^{-1}), sendo o T5 quem o mais influenciou a variável. O tratamento T0, como se esperava, não influenciou nenhuma das variáveis analisadas. Para o índice de qualidade, MST, o destaque foi T6.

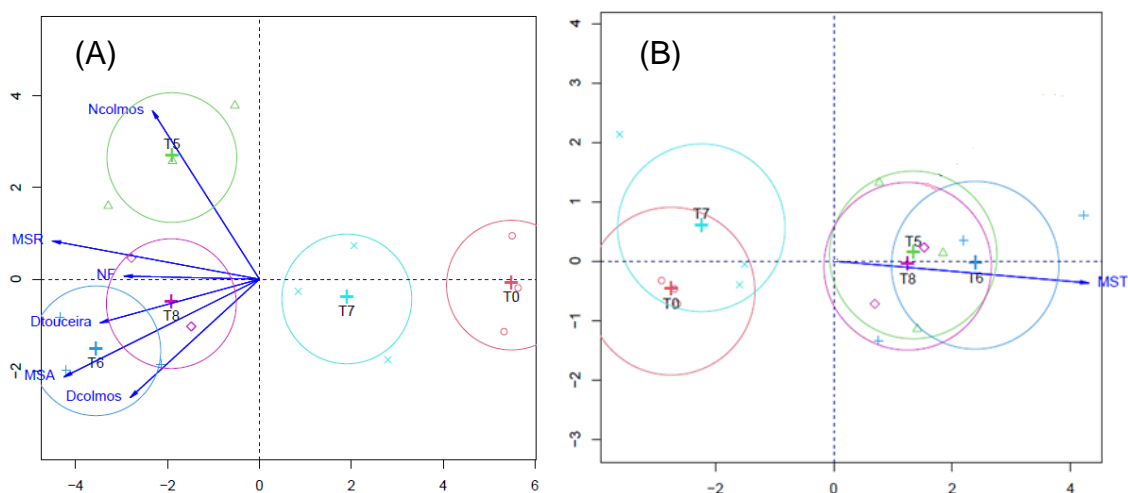


Figura 10. Representação gráfica das variáveis canônicas para variáveis morfológicas (A) e de qualidade (B) em mudas de *Guadua angustifolia* com aplicação de ureia. H = altura da parte aérea; Dtouceira = diâmetro da touceira; NF = número de folhas MSA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca das raízes; Ncolmos = números de colmos; Dcolmos = diâmetro dos colmos e MST = massa seca total.

De maneira geral, através da síntese das diferentes análises realizadas nas nos resultados obtidos para os padrões morfológicos de *Guadua angustifolia* (Tabela 3), constata-se que aplicação de diferentes doses de nitrogênio nas mudas proporcionou aumentos na qualidade das mudas, especialmente na utilização de nanofertilizante, sendo superior em 40% das variáveis analisadas, através da análise de variância, sendo que o restante, 60%, não foi constatada diferença significativa, no entanto, os valores ficaram maiores ou iguais em todos os parâmetros. Cabe destacar que na literatura, até o momento, não há estudos sobre o uso de nanofertilizantes na produção de mudas de *Guadua angustifolia*.

Tabela 3. Médias dos melhores resultados dos aspectos morfológicos nos tratamentos de nanofertilizante e ureia em *Guadua angustifolia*.

TRATAMENTO	D							
	H	touceira	NF	MSA	Ncolmos	Dcolmos	MSR	MST
T4	91,0 _a	24,4 _a	7,0 _a	10,6 _a	4,0 _a	4,1 _a	59,1 _a	69,7 _a
T8	84,3 _a	19,4 _b	7,3 _a	13,4 _a	4,0 _a	4,8 _a	28,7 _b	42,1 _b

H = altura da parte aérea; D touceira = diâmetro da touceira; NF = número de folhas MSA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca das raízes; Ncolmos = números de colmos; Dcolmos = diâmetro dos colmos; MST = massa seca total e IQD = índice de qualidade de Dickison. Médias seguidas pela mesma letra não se diferenciam pelo teste f anova a 5% de probabilidade.

Foram apurados os conteúdos de macro e micronutrientes da parte aérea das mudas de *Guadua angustifolia* constatando-se que há influência dos diferentes tipos de adubação de cobertura utilizados (Tabela 4).

Sabe-se que uma fertilização adequada e um fornecimento equilibrado de nutrientes são fatores importantes para alcançar um ótimo rendimento e qualidade de mudas em geral (Haider *et al.*, 2020). Assim, para a compreensão das variáveis nutricionais em resposta às doses de ureia e nanofertilizantes em bambu foram realizadas análises de macro e micronutrientes foliares.

Através dos resultados da análise de variância, foi constatada a ocorrência de diferença estatística significativa nas variáveis nutricionais N, P, K, Ca, B, Fe, S, B, Fe, Mn e Zn. Para Mg e Cu não houve significância detectada. A utilização do nanofertilizante potencializou o uso da adubação de cobertura em *Guadua angustifolia*, permitindo ganhos nos conteúdos nutricionais das mudas, principalmente Nitrogênio, com incremento acima de 50% em relação ao tratamento em que não foi aplicada nenhuma adubação.

Tabela 4. Conteúdos de macro (g/Kg) e micronutrientes (ppm) da parte aérea de mudas de *Guadua angustifolia* produzidas com diferentes formas e doses de adubação de cobertura

Nutriente	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
ZAPL	18 _b	2,8 _b	12,7 _a	5,0 _b	4,3 _a	3,8 _a	19,2 _c	7,3 _a	476,74 _a	42,6 _c	140,7 _a
NANO	35,4 _a	5,2 _a	11,2 _a	9,2 _a	5,2 _a	4,6 _a	88,3 _a	5,6 _a	389,9 _b	56,4 _b	59,0 _b
UREIA	36,0 _a	4,8 _a	9,5 _b	8,2 _a	5,2 _a	1,9 _b	43,2 _b	4,0 _a	366,7 _c	85,9 _a	49,0 _c

ZAPL= Nenhuma aplicação nutricional (T0); NANO = Nanofertilizante (T1, T2, T3 e T4); UREIA = T5, T6, T7 e T8 N = nitrogênio; P = Fósforo; K = Potássio; Ca = Cálcio; Mg = Magnésio; S = Enxofre; B= Boro; Cu = Cobre; Fe = Ferro; Mn = Manganês; Zn = Zinco. Médias seguidas pela mesma letra não se diferenciam pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Os valores nutricionais de N juntamente com os resultados do crescimento (dados morfológicos) encontrados nas mudas de *Guadua angustifolia* demonstram a efetividade proporcionada pelo nanofertilizante arbolina.

De modo geral, a concentração de nutrientes varia bastante conforme a idade as diferentes partes das plantas. Em estudos com adubação mineral em mudas de bambu da espécie *Yushania alpina*, o N variou de 16,4 a 17,8 g/Kg⁻¹ nas folhas e de 3,0 a 5,0 g/Kg⁻¹ nos colmos. O fósforo variou entre 1,40 e 1,90 g/Kg⁻¹ nas folhas e de 0,5 a 0,8 g/Kg⁻¹ nos colmos e os teores de potássio variaram entre 8,7 e 17,6 g/Kg⁻¹ nas folhas e de 4,8 a 15,0 g/Kg⁻¹ nos colmos (Embaye *et al.*, 2005).

Ao confrontar os resultados encontrados nos macronutrientes, principalmente o nitrogênio, verificamos valores demasiado acima dos valores médios encontrados para a espécie *Yushania alpina*, demonstrando que tantas doses intermediárias de nanofertilizante quando doses elevadas de ureia proporcionam boas condições nutricionais para bambus do gênero *Guadua*.

Através da análise de variáveis canônicas (Figura 11), verifica-se o incremento de 50% de N nos tratamentos com aplicação de nanofertilizante quando comparado com a testemunha. Para os demais macros e micronutrientes, verifica-se uma inconstância quanto ao melhor tratamento, cabendo destacar que para essas variáveis não havia formulação aplicada especificamente.

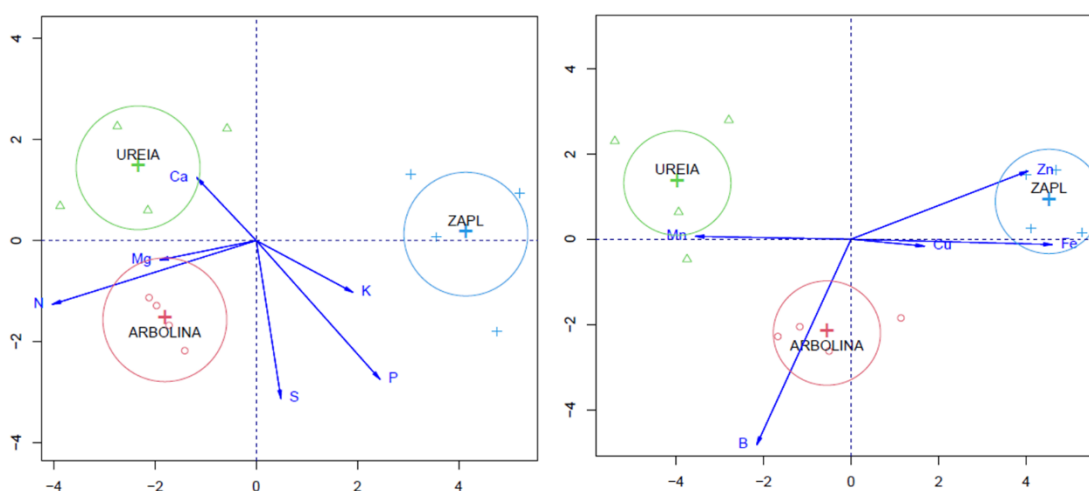


Figura 11. Representação gráfica das variáveis canônicas para variáveis nutricionais dos macronutrientes (A), e micronutrientes (B) em erva-mate, com diferentes doses de nanofertilizante e ureia em adubação de cobertura em *Guadua angustifolia*, com diferentes doses de nanofertilizante e ureia em adubação de cobertura. 0, 2, 4, 6 e 8 ml de nanofertilizante e 2, 4, 6 e 8 g/litro de ureia (g/L⁻¹). N = nitrogênio; P = Fósforo; K = Potássio; Ca = Cálcio; Mg = Magnésio; S = Enxofre; B= Boro; Cu = Cobre; Fe = Ferro; Mn = Manganês; Zn = Zinco.

Através da análise de variância, foi constatada a ocorrência de diferença estatística significativa nas variáveis referentes à lixiviação de N pelas mudas

de *Guadua angustifolia* (Tabela 5). A ureia ficou com maior valor de nitrogênio lixiviado, apresentando acréscimo de 75,4 % em relação ao nanofertilizante.

O resultado da lixiviação obtido da comparação do nanofertilizante com a ureia convencional, corrobora com um compilado de estudos, que relatam que a lixiviação dos nanofertilizantes é em média 30% menor (Ahmad *et al.*, 2023; Al-Mamun *et al.*, 2021; Grewal; Goel; Arya, 2023; Guleria *et al.*, 2023; Ijaz *et al.*, 2023; Mahawar *et al.*, 2023; Sheoran *et al.*, 2021a, 2021b; Vanti; Belur; Husen, 2023; Venkatachalam *et al.*, 2017).

Tabela 5. Variáveis de lixiviação em mudas de *Guadua angustifolia* com diferentes doses de nanofertilizante e ureia em adubação de cobertura.

Nutriente	N total (mg/L)	Carbono Orgânico (%)
ZAPL	0,14 _a	0,05
NANO	0,31 _b	0,19
UREIA	1,26 _c	0,57

ZAPL= Nenhuma aplicação nutricional (TO); NANO = Nanofertilizante (T1, T2, T3 e T4); UREIA = T5, T6, T7 e T8. N = nitrogênio. Médias seguidas pela mesma letra não se diferenciam pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Através da análise de variáveis canônicas (Figura 12), constata-se que a lixiviação de Nitrogênio ficou muito acima para os tratamentos com aplicação de nitrogênio convencional (ureia). O nanofertilizante apresentou baixos níveis de lixiviação. Para o carbono, se nota que os tratamentos ficaram acima dos demais, corroborando com a composição de arbolina, que entrega além de nitrogênio carbono orgânico.

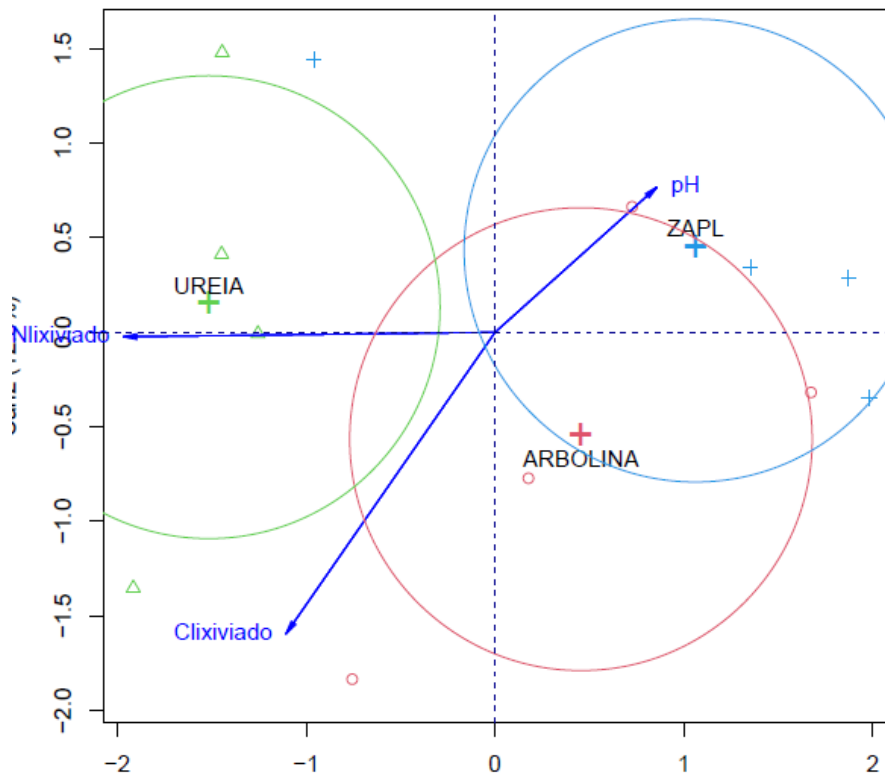


Figura 12. Representação gráfica das variáveis canônicas para lixiviação em mudas de *Guadua angustifolia* com diferentes doses de nanofertilizante e ureia em adubação de cobertura. 0 (ZAPL), 2, 4, 6 e 8 ml de nanofertilizante (NANO) e 2, 4, 6 e 8 (g L^{-1}) de ureia. Nlixiviado = nitrogênio lixiviado; Clixiviado = carbono lixiviado.

4. CONCLUSÕES

A aplicação de nanofertilizante via adubação de cobertura promoveu maior crescimento e teor de nitrogênio na parte aérea de mudas de bambu do gênero *Guadua*.

A espécie respondeu de forma diferenciada ao nanofertilizante, sendo que as mudas que obtiveram melhores respostas estavam contidas no tratamento com aplicação de 8 ml por muda. O nanofertilizante reduziu substancialmente a lixiviação de nitrogênio.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHMAD, F. et al. Influence of silicon nano-particles on *Avena sativa* L. to alleviate the biotic stress of *Rhizoctonia solani*. **Scientific Reports**, v. 13, n. 1, 2023.
- ALIYU, A. et al. Phytochemical analyses and mineral elements composition of some medicinal plants of Northern Nigeria. **Journal of Pharmaceutical Sciences**, Vol. 7 No. 1, P. 119– 125, 2008.
- ALLISON, L. E. Wet-Combustion Apparatus and Procedure for Organic and Inorganic Carbon in Soil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 24, n. 1, p. 36–40, 1960.
- AL-MAMUN, M. R. et al. Nanofertilizers towards sustainable agriculture and environment. **Environmental Technology & Innovation**, v. 23, p. 101658, 2021.
- ALVES DE OLIVEIRA, D. et al. Alocação de biomassa em plantas de bambu em resposta a adubação mineral. **Scientia agraria**, v. 9, n. 2, p. 139–146, 2008.
- AMRI, E. et al. Vegetative propagation of african blackwood (*Dalbergia melanoxylon* Guill. & Perr.): Effects of age of donor plant, IBA treatment and cutting position on rooting ability of stem cuttings. **New Forests**, v. 39, n. 2, p. 183–194, 2010.
- APHA –AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for examination of water and wastewater**. 19. ed. Washinton: American Public Health Association, 1995.
- AZZINI, A.; SALGADO, A. L. DE B. Enraizamento de propágulos de bambu em diferentes substratos. **Bragantia**, v. 52, n. 2, p. 113–118, 1993.
- BATAGLIA, O. C. et al. **Métodos de análise química de planta**. Campinas: 1983.
- BHERING, L. L. Rbio: A tool for biometric and statistical analysis using the R platform. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 17, n. 2, p. 187–190, 2017.
- BÖHM, W. Methods of Studying Root Systems. **Ecological Studies**. v. 33, 1979.
- CARDOSO, M. R. D.; MARCUZZO, F. F. N.; BARROS, J. R. Classificação climática de Köppen-Geiger para o Estado de Goiás e o Distrito Federal. **ACTA GEOGRÁFICA**, v. 8, n. 16, p. 40–55, 2014.
- DENG, W. et al. Heml: A toolkit for illustrating heatmaps. **PLoS ONE**, v. 9, n. 11, 2014.

DIAS, P. C. et al. Estaquia e miniestaquia de espécies florestais lenhosas do Brasil. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, n. 72, p. 453–462, 2012.

EMBAYE, K. et al. Biomass and nutrient distribution in a highland bamboo forest in southwest Ethiopia: implications for management. **Forest Ecology and Management**, v. 204, n. 2–3, p. 159–169, 2005.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a guide for its bootstrap sisvar: a guide for its bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciênc. agrotec.**, v. 38, 2014.

FONSECA, KARINA F. DA. **Produção de mudas de bambu *Guadua angustifolia* Kunth, (Poaceae) por propagação vegetativa**. Mestrado—(Curso de Pós-graduação em Agronomia) Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, Alagoas, 2007.

GALARÇA, S. P. et al. Correlação de pearson e análise de trilha identificando variáveis para caracterizar porta-enxerto de *Pyrus communis* L. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 4, p. 860–869, 2010.

GHIMIRE, B. K. et al. Biochemical and Physiological Changes during Early Adventitious Root Formation in *Chrysanthemum indicum* Linné Cuttings. **Plants**, v. 11, n. 11, p. 1440, 1 jun. 2022.

GREWAL, S.; GOEL, S.; ARYA, A. Impact, and current perspectives of NPs on soil nutrients. **The Impact of Nanoparticles on Agriculture and Soil**, p. 129–138, 2023.

GULERIA, G. et al. Nanotechnology for sustainable agro-food systems: The need and role of nanoparticles in protecting plants and improving crop productivity. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 194, p. 533–549, 2023.

HAIDER, M. U. et al. Zinc Nutrition for Improving the Productivity and Grain Biofortification of Mungbean. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 20, n. 3, p. 1321–1335, 2020.

HARTMANN, H. et al. **Plant Propagation: Principles and Practices**. 9. ed. 2017.

HUSSAIN, N. et al. Carbon-based nanomaterials with multipurpose attributes for water treatment: Greening the 21st-century nanostructure materials deployment. **eaapublishing.org**, v. 1, n. 1, p. 48–58, 2022.

IJAZ, M. et al. Nanobiotechnology to advance stress resilience in plants: Current opportunities and challenges. **Materials Today Bio**, v. 22, 1 out. 2023.

ISLAM, M. S. et al. Clonal propagation of *Bambusa vulgaris* by leafy branch cuttings. **Journal of Forestry Research**, v. 22, n. 3, p. 387–392, 2011.

JASP TEAM. **JASP Team**. 2023.

SOUSA, J. R. L. **Propagação de bambu em viveiro em diferentes substratos, doses de hidrogel e variabilidade genética de uma coleção ex-**

situ. Tese—[s.l.] Tese (Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais) Universidade de Brasília, Brasília, Distrito Federal, 2018.

JÚNIOR, F. et al. Enraizamento *Ex vitro* e aclimatização de plantas micropropagadas de *Tectona grandis*. **Floresta**, v. 41, n. 1, p. 79–86, 2011.

KAHRL, F. et al. Greenhouse gas emissions from nitrogen fertilizer use in China. **Environmental Science & Policy**, v. 13, n. 8, p. 688–694, 2010.

KAUR, H. et al. Metabolism during adventitious root primordia initiation and development. **Environmental, Physiological and Chemical Controls of Adventitious Rooting in Cuttings**, p. 133–158, 2022.

KETTENHUBER, P. W.; SOUSA, R.; SUTILI, F. Vegetative Propagation of Brazilian Native Species for Restoration of Degraded Areas. **Floresta e Ambiente**, v. 26, n. 2, p. e20170956, 2019.

KIM, Y. J. F.; HANSEN, A. Q. On-field Crop Stress Detection System Using Multi-spectral Imaging Sensor. **Agricultural and Biosystems Engineering**, v. 1, n. 2, p. 88–94, 2000.

KOMATSU, Y. H. et al. In vitro morphogenic response of leaf sheath of *Phyllostachys bambusoides*. **Journal of Forestry Research**, v. 22, n. 2, p. 209–215, 2011.

KOZAI, T.; KUBOTA, C. In vitro aerial environments and their effects on growth and development of plants. **Photoautotrophic (sugar-free medium) Micropropagation as a New Micropropagation and Transplant Production System**, p. 31–52, 2005.

KOZAI, T.; KUBOTA, C.; JEONG, B. R. Environmental control for the large-scale production of plants through in vitro techniques. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v. 51, n. 1, p. 49–56, 1997.

KUMAR, A. et al. Effect of nitrogen and zinc nanofertilizer with the organic farming practices on cereal and oil seed crops. **Scientific Reports**, v. 12, n. 1, p. 1–7, 2022.

LELAND WILKINSON; MICHAEL FRIENDLY. The history of the cluster heat map. **The American Statistician**, v. 63, n. 2, p. 179–184, 2009.

LIEBSCH, D.; REGINATO, M. Florescimento e frutificação de *Merostachys skvortzovii* Sendulsky (taquara-lixá) no estado do Paraná. **Iheringia - Serie Botanica**, v. 64, n. 1, p. 53–56, 2009.

LIU, Z. et al. In Vitro Technologies for American Chestnut (*Castanea dentata* (Marshall) Borkh) Conservation. **Plants**, v. 11, n. 3, p. 464, 2022.

LOPES, E. C. et al. Crescimento de mudas de mangue sob diferentes níveis de sombreamento na península de Ajuruteua, Bragança, Pará. **Acta Amazonica**, v. 43, n. 3, p. 291–296, 2013.

MAHAWAR, L. et al. Silicon nanoparticles: Comprehensive review on biogenic synthesis and applications in agriculture. **Environmental Research**, v. 232, 2023.

MAIA, M. M. et al. Incorporação de lodo de esgoto ao substrato de produção de mudas de *Bambusa vulgaris* via estaquia. **Revista Forestal Mesoamericana Kurú**, v. 19, n. 44, p. 21–28, 2022.

MALEKI ASAYESH, Z. et al. Enhancement of ex vitro acclimation of walnut plantlets through modification of stomatal characteristics in vitro. **Scientia Horticulturae**, v. 220, p. 114–121, 2017.

MENDES, S. DE C. et al. Absorção e distribuição de nutrientes em plantios comerciais de bambu (*Bambusa vulgaris*) no nordeste do Brasil. **Revista Arvore**, v. 34, n. 6, p. 991–999, 2010.

MONTEIRO, J. S. et al. Influência do ângulo de plantio sobre a brotação e o enraizamento de estacas de *Phyllanthus sellowianus* (Klotzsch) müll. Arg. **Ciencia Florestal**, v. 20, n. 3, p. 523–532, 2010.

MUDOI, K. D. et al. Micropropagation of important bamboos: A review. **African Journal of Biotechnology**, v. 12, n. 20, p. 2770–2785, 2013.

PARK, S. H. et al. Evaluation of Sembilang Bamboo (*Dendrocalamus giganteus*) Charcoal for Potential Utilization. **BioResources**, v. 15, n. 1, p. 6–19, 2020.

PEREIRA, M. A. DOS R.; BERALDO, A. L. **Bambu de Corpo e Alma**. 2. ed. 2016.

RAJPUT, B. S. et al. Large-scale clonal propagation of *Bambusa balcooa* Roxb.: An industrially important bamboo species. **Industrial Crops and Products**, v. 157, p. 112905, 2020.

SELEIMAN, M. F. et al. Nano-Fertilization as an emerging fertilization technique: why can modern agriculture benefit from its use? **Plants**, v. 10, n. 1, p. 2, 2020.

SHANG, Y. et al. Applications of nanotechnology in plant growth and crop protection: A review. **Molecules**, v. 24, n. 14, 2019.

SHEORAN, P. et al. Enhancement of growth and yield, leaching reduction in *Triticum aestivum* using biogenic synthesized zinc oxide nanofertilizer. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 32, p. 101938, 2021.

SINGH, S.; KUMAR, P.; ANSARI, S. A. A simple method for large-scale propagation of *Dendrocalamus asper*. **Scientia Horticulturae**, v. 100, n. 1–4, p. 251–255, 2004.

SINGH, S. R. et al. Limitations, progress and prospects of application of biotechnological tools in improvement of bamboo—a plant with extraordinary qualities. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v. 19, n. 1, p. 21–41, 2013.

SOLÍS-ZANOTELLI, F. Y. et al. In vitro germination and development of “Canelita” (*Lycaste aromatica* (Graham) Lindl.) in gravity immersion bioreactors. **In Vitro Cellular and Developmental Biology - Plant**, v. 58, p. 1117–1125, 2022.

TARAFDAR, J. C. et al. Development of zinc nanofertilizer to enhance crop production in pearl millet (*Pennisetum americanum*). **Agricultural Research**, v. 3, n. 3, p. 257–262, 2014.

TRAZZI, P. A. et al. Qualidade de mudas de *Murraya paniculata* produzidas em diferentes substratos. **Floresta**, v. 42, n. 3, p. 621–630, 2012.

USMAN, M. et al. Nanotechnology in agriculture: Current status, challenges and future opportunities. **Science of the Total Environment**, v. 721, 2020.

VAMIL, R.; AGNIHOTRI, R. K.; SHARMA, R. Effect of certain plant growth regulators on the seedling survival, biomass production and proline content of *Bambusa arundinacea*. **Science Research Reporter**, v. 1, n. 2, p. 44–48, 2011.

VANTI, G.; BELUR, S.; HUSEN, A. Use of nanomaterials in agricultural sectors. **Advances in Smart Nanomaterials and their Applications**, p. 445–467, 2023.

VENKATACHALAM, P. et al. Enhanced plant growth promoting role of phycomolecules coated zinc oxide nanoparticles with P supplementation in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 110, p. 118–127, 2017.

YANG, L. et al. Study on the regulation of exogenous hormones on the absorption of elements and the accumulation of secondary metabolites in the medicinal plant artemisia argyi leaves. **Metabolites**, v. 12, n. 10, p. 984, 2022.

ZHANG, K. et al. Sequential utilization of bamboo biomass through reductive catalytic fractionation of lignin. **Bioresource Technology**, v. 285, p. 1–7, 2019.

ZULFIQAR, F. et al. Nanofertilizer use for sustainable agriculture: advantages and limitations. **Plant Science**, v. 289, p. 110270, 2019.

CAPÍTULO 3

CRESCIMENTO DE MUDAS DE *ILEX PARAGUARIENSIS* À ADUBAÇÃO DE COBERTURA COM NANOFERTILIZANTE E UREIA

1. INTRODUÇÃO

Uma espécie notadamente importante na América do Sul, a erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil), é consumida tradicionalmente no chimarrão, tererê e chás. A espécie possui grande importância para a renda dos produtores da região sul do Brasil onde é plantada em pequenas, médias e grandes propriedades, envolvendo cerca de 180 mil propriedades (Barroso *et al.*, 2011; Chechi *et al.*, 2017; Fleig; Schneider; Finger, 2003; IBRAMATE, 2021; Paiva *et al.*, 2020).

Os estados da região Sul do Brasil são os maiores produtores e exportadores de erva-mate e demais produtos oriundos da planta, principalmente para o Uruguai, Síria, Argentina, Chile, Estados Unidos da América, Espanha, Alemanha, Países Baixos, França e Turquia, que se destacam-se como os dez maiores importadores (IBRAMATE, 2021).

A erva-mate possui mercado potencial, e rotineiramente são lançadas patentes de novos produtos, indicando que o mercado ervateiro está em franca expansão, citando como maior exemplo a produção de cosméticos, como cremes para a pele, xampus, produtos para prevenção e tratamento de celulite, cremes e doces em geral (Barroso *et al.*, 2011; Cardozo *et al.*, 2021; IBRAMATE, 2021; Roque Dallabrida *et al.*, 2016), há também a produção de bebidas, como cerveja, refrigerantes e diferentes tipos de chás.

Dados recentes apontam que a indústria ervateira produziu cerca de 528 mil toneladas, em uma área de plantio de aproximadamente 72 mil hectares no ano de 2020, contando com plantios em diversos estados brasileiros, além dos já tradicionais produtores da região sul (IBGE, 2020; IBRAMATE, 2021). Alguns desses estados estão na região centro-oeste, que além de Mato Grosso do Sul,

começa a contar com inserção de plantios em Mato Grosso e Goiás. (IBRAMATE, 2021).

Com a expansão para outros Estados onde há solo, regime pluviométrico e clima diferentes é imprescindível a adoção de novas práticas silviculturais para cultivo da espécie, fazendo com que a expansão de novas áreas e o crescimento da produção sejam de fato consumados através de novos protocolos para produção de mudas e plantio.

Um dos problemas do setor é a produção de mudas. No sistema clonal, embora permita a produção de mudas durante todo ano, o viveirista terá que investir em tecnologia, implicando em elevados custos de produção. Ademais, a propagação vegetativa de erva-mate ainda enfrenta questões específicas como a dificuldade de enraizamento em função de diversos fatores (WENDLING *et al.*, 2020).

Atualmente, o método mais empregado na produção de mudas de erva-mate ainda é via seminal. Embora as sementes apresentem dormência embrionária, necessitando por quebra de dormência que pode variar entre 5 a 6 meses, geralmente é feita através da mistura de areia, configurando um método de fácil execução, e exigindo mínima adoção tecnológica com baixos custos.

Estima-se que anualmente sejam produzidas cerca de 10 milhões de mudas de erva-mate, e a tendência é o aumento da produção ao passo em que novas áreas de plantios de erva-mate venham a ser implantadas, no entanto a etapa de produção de mudas requer o desenvolvimento de técnicas de manejo que busquem aperfeiçoar as fases do processo de produção, buscando aumentar qualidade das mudas, maior rigor no controle de patógenos, irrigação eficiente e fertilização adequada (Duarte *et al.*, 2020; Duboc, 2015; Gabira *et al.*, 2020; WENDLING *et al.*, 2020).

Ademais, fertilizantes convencionais são considerados recursos não renováveis, uma vez que a produção de fertilizante à base de N depende de alto consumo energético, enquanto fertilizantes com P e K dependem de reservas minerais restritas e de cunho restrito (Basavegowda; Baek, 2021a). Assim, visando a melhoria da fertilização em erva-mate, o nanofertilizante torna-se uma importante alternativa, uma vez que inúmeros estudos demonstram a superioridade, das mais variadas formulações de

nanofertilizantes, abrangendo diversos aspectos, como: crescimento, enraizamento, área foliar, produtividade, absorção de nutrientes entre outros.

Visando a melhoria do crescimento e produtividade de repolho (*Brassica oleracea* var. *capitata* L.) através da aplicação nanofertilizante, Abdulhameed; Taha; Ismail (2021), encontraram valores para circunferência maiores quando comparadas com o controle 49 e 28 cm respectivamente, outro fator importante, o crescimento, também foi superior com nanofertilizante NPK + Fe que apresentou 16,7 cm enquanto o controle (adubação convencional) ficou 10,7 cm, em consequência desses aumentos o peso também foi superior, aumentando cerca de 3 vezes.

Em testes com *Polyscias fruticosa* (árvore da felicidade), o uso de nanofertilizantes resultou no aumento da matéria seca 126,5 g por planta, enquanto o controle (N-P-K convencional) foi de 88,57 g por planta. O número de raízes por planta foi de 21,4 com peso total média de 23,5 g, sendo cerca de 50% maior em comparação com o tratamento controle (Le *et al.*, 2022).

Para *Asparagus officinalis* (aspargo), a altura média de plantas onde houve uso do nanofertilizante foi de 93 cm enquanto no controle foi de 63 cm, o número médio de lanças foi de 18 e 9, outro fator relevante para a cultura de aspargo, o peso, foi de 193 e 47 g por touceira e a média por lança de 11 g por lança e 6 g para o nanofertilizante e controle respectivamente (Le *et al.*, 2022).

Deste modo, com a crescente expansão de áreas de cultivo e algumas carências na etapa da produção de mudas de erva-mate, principalmente em ajustes de protocolos para fertilização e o sucesso dos nanofertilizantes em distintas culturas agrônômicas, o capítulo 3 visa analisar se a aplicação de nanofertilizante em adubação base e de cobertura, influenciam o estabelecimento e crescimento e mudas de *Ilex paraguariensis*, bem como suas características fisiológicas e nutricionais

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local de implantação do experimento

O experimento do capítulo 3 foi desenvolvido no Centro de Referência em Conservação da Natureza e Recuperação de Áreas Degradadas (CRAD) da Universidade de Brasília (UnB), Campus Darcy Ribeiro em Brasília, Distrito Federal, coordenadas 15°46'16''S e 47°52'03''W.

O clima, segundo Köppen e Geiger é classificado como Aw, caracterizado por duas nítidas estações: uma seca durante o inverno e outra chuvosa no verão. A temperatura média é de 21.7 °C e a pluviosidade média anual é 1443 mm (Cardoso; Marcuzzo; Barros, 2014). O experimento foi conduzido do período de janeiro a abril de 2023.

2.2 Mudanças, recipientes e substrato

As mudas de erva-mate, produzidas via semente, foram adquiridas no viveiro florestal Gabriel Nasato Plantas, situado no município de Laurentino/SC, com 60 dias de idade. Para a condução do estudo, as mudas, foram selecionadas aleatoriamente. Os recipientes utilizados foram tubetes de 190 cm³. O substrato utilizado foi da marca Maxfértil®, com a seguinte composição: casca de pinus, cinzas, vermiculita, turfa serragem e bioestabilizados, contendo 0,5% de corretivos de acidez, 0,5% de fosfato natural e 0,6% de fertilizante mineral N-P-K. Possui densidade de 310 Kg/m³, pH de 6 +/- 0,5, condutividade elétrica de 0,5 +/- 0,30 ms/cm e uma capacidade de retenção de água de até 90%.

2.3 Instalação do experimento

O experimento foi instalado em casa de vegetação com irrigação por microaspersão controlada, com lâmina d'água 12mm, distribuída em três

períodos ao longo do dia. O delineamento foi o inteiramente casualizado (DIC), com nove tratamentos (doses de nanofertilizante e ureia) composto por 12 mudas cada. Os tratamentos foram a testemunha com 0 ml (T0), quatro doses nanofertilizante (diluído à 10%): 2, 4, 6 e 8 ml denominados T1, T2, T3 e T4 respectivamente, e 30 ml de ureia diluída na proporção de 2, 4, 6 e 8 g por litro de água, denominados: T5, T6, T7 e T8 respectivamente, por muda. A aplicação foi realizada através de pipeta dosadora diretamente no recipiente de maneira individual, a cada sete dias, durante o período de 4 meses.

2.4 Análise dos resultados

2.4.1 Avaliação das características morfológicas

Para avaliação das características morfológicas foram utilizados métodos descritos por Böhm (1979), onde serão descritos a altura da parte aérea (H), em centímetros, obtida com auxílio de régua graduada; o diâmetro do coleto (D), em milímetros, obtido com auxílio de paquímetro digital; o número total de folhas (NF), obtido através da contagem simples; a massa seca da parte aérea (MSA), em gramas, a massa seca das raízes (MSR) em gramas, e a massa seca total (MST) em gramas. Ambas foram obtidas através da secagem do material em estufa com temperatura variando entre 65°C e 75°C até atingirem peso constante, e posterior pesagem em balança analítica de precisão (0,001 g).

De maneira complementar, foi realizado a contagem simples das raízes (NR) e medido o diâmetro médio das raízes (DMR). A fim de expressar o equilíbrio do crescimento das mudas de *Ilex paraguariensis*, através da ponderação da massa seca total, relação da altura e diâmetro e a relação da massa seca da parte aérea com as raízes foi realizado o Índice de Qualidade de Dickson, obtido através da equação 1 (Dickson; Leaf; Hosner, 1960).

$$IQD = MST / \left[\frac{H}{D} + \frac{MSA}{MSR} \right] \quad \text{Equação 1.}$$

2.4.2 Teores de macro e micronutrientes foliares

A avaliação dos teores de macro e micronutrientes foi realizada de maneira composta, de forma que o material da parte aérea das mudas (brotos e folhas) foram destacados das raízes e homogeneizados de acordo com a adubação utilizada, ou seja, nenhuma adubação, nanofertilizante e ureia, e em seguida colocados em sacos de papel e acondicionados em estufa, com temperatura variando entre 65°C e 75°C até atingirem peso constante. Após, a massa seca foi moída em moinho tipo Willey, e determinados os teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S) e micronutrientes (Fe, Zn, Mn, Cu e B), seguindo a metodologia descrita por Bataglia et al. (1983).

2.4.3 Lixiviação de nutrientes

Para determinação da lixiviação de nutrientes, aos 120 dias, foram coletadas amostras de água lixiviada de 10 mudas por tratamento, durante 3 dias após a aplicação da adubação. As amostras foram homogeneizadas, de acordo com o nutriente utilizado, ou seja, nenhuma adubação, nanofertilizante e ureia e levadas ao laboratório para a determinação do pH. Também foram determinadas a concentração de carbono orgânico seguindo metodologia descrita por Allison (1960), e a de nitrogênio pela metodologia descrita em APHA – American public health association (1995).

2.5 Análise estatística

Os dados preliminares foram submetidos a diferentes análises, incluindo a descritiva (média e desvio padrão), seguida dos testes de normalidade (Shapiro-Wilk), e homogeneidade (Bartlett). Depois de verificada a homogeneidade e normalidade dos dados, as variáveis morfológicas e nutricionais das mudas foram submetidas à análise de variância da regressão polinomial ($\alpha=0,05$), utilizando-se as médias de cada tratamento. A equação de regressão selecionada foi correspondente à regressão significativa de mais alto grau ($p<0,05$). Caso constatada a significância entre as interações dos fatores testados, as médias foram submetidas ao teste de Scott & Knott.

De forma complementar, as doses de nanofertilizante e ureia foram agrupadas, por meio da análise de variáveis canônicas. Essa análise é um procedimento estatístico multivariado, que avalia o grau de similaridade entre elementos amostrais (doses de nanofertilizante e ureia), levando em consideração a matriz de covariância residual, ou seja, a variação entre as repetições, além da média das variáveis.

O objetivo principal dessa análise foi simplificar a estrutura dos dados, de forma que a dispersão entre os tratamentos representados por um conjunto p-dimensional (onde p representa o número de variáveis avaliadas), possa ser avaliada por um conjunto bidimensional de fácil interpretação, permitindo o agrupamento entre os tratamentos (CRUZ; REGAZZI, 1994; TRUGILHO, 1995). Essa análise foi realizada para as variáveis morfológicas em relação ao nanofertilizante e ureia.

De maneira complementar, as doses de nanofertilizante e ureia, foram correlacionados com as médias das variáveis morfológicas, nutricionais e lixiviação através correlação de Pearson $|r_{ij}|$ através de Heatmap's (mapas de calor,) representada pela densidade geográfica de pontos onde cada cor da célula corresponde ao valor de correlação de duas determinadas variáveis, sendo que cores azuis representam correlação positiva, enquanto cores vermelhas representam correlação negativa. Quanto mais escuro o vermelho, mais próximo do valor -1, e quanto mais escuro o azul, mais próximo do valor 1 (Deng *et al.*, 2014; Leland Wilkinson; Michael Friendly, 2009). A correlação foi realizada para as variáveis morfológicas em relação ao nanofertilizante e ureia.

Os procedimentos estatísticos foram realizados com auxílio dos softwares SISVAR Statistical Software v. 5.6 (Ferreira, 2014), Rbio (Bhering, 2017), Microsoft Excel® e JASP V. 0.18.1 (JASP Team, 2023).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise de variância (Figura 10), mostraram a ocorrência de diferença estatística nas variáveis: altura; diâmetro de coleto; nas massas secas da parte aérea, raiz e total e no índice de qualidade de Dickson (IQD). Nas que apresentaram significância, o tratamento sem aplicação de nanofertilizante apresentou os menores valores médios.

A análise de regressão (Figura 13) foi significativa para as mesmas variáveis que apresentaram significância na ANOVA, sendo os modelos de maiores valores de R^2 : quadrático positivo (H, D e MSA) e linear positivo (MSR, MST e IQD) nos tratamentos com nanofertilizante.

Altura das mudas apresentou uma variação média de 13 cm entre os tratamentos com aplicação de nanofertilizante, em relação à testemunha, sendo a aplicação de 4 mL/muda o tratamento de maior valor médio. O incremento na altura das mudas foi de 60% em relação às mudas sem a aplicação do nano. O diâmetro de coleto apresentou uma variação média em

tre os tratamentos de 1,48 mm, 74% a mais, quando comparados os tratamentos com aplicação em relação à testemunha, sendo também aplicação de 4 ml/muda, o melhor tratamento.

Já para as massas secas (parte aérea, raiz e total), a variação em relação à testemunha foi de: 2,17g para a MSA, uma diferença de 43%; 2,29 g para MSR, uma diferença 35,4%; 4,35g para MST, uma diferença de 40%. As variáveis que apresentaram maior influência pela adubação de cobertura com o nanofertilizante foram: a altura e o diâmetro de coleto.

O nitrogênio integra diversos compostos nas plantas, como: aminoácidos, ácidos nucléicos e clorofila, justificando sua demasiada absorção pelas plantas. De maneira geral, a adubação nitrogenada é amplamente utilizada na produção de mudas de espécies arbóreas, uma vez que influencia de forma positiva no crescimento inicial e na qualidade final das mudas (AFONSO et al., 2016; FERNANDES et al., 2019; NOVAIS et al., 2007).

Uma das características mais importantes para avaliar o padrão de qualidade de mudas de espécies florestais, a altura, está positivamente correlacionada ao crescimento à campo. Ademais, é de fácil observação e não necessita a destruição das mudas (Costa; Almeida; Castro, 2020).

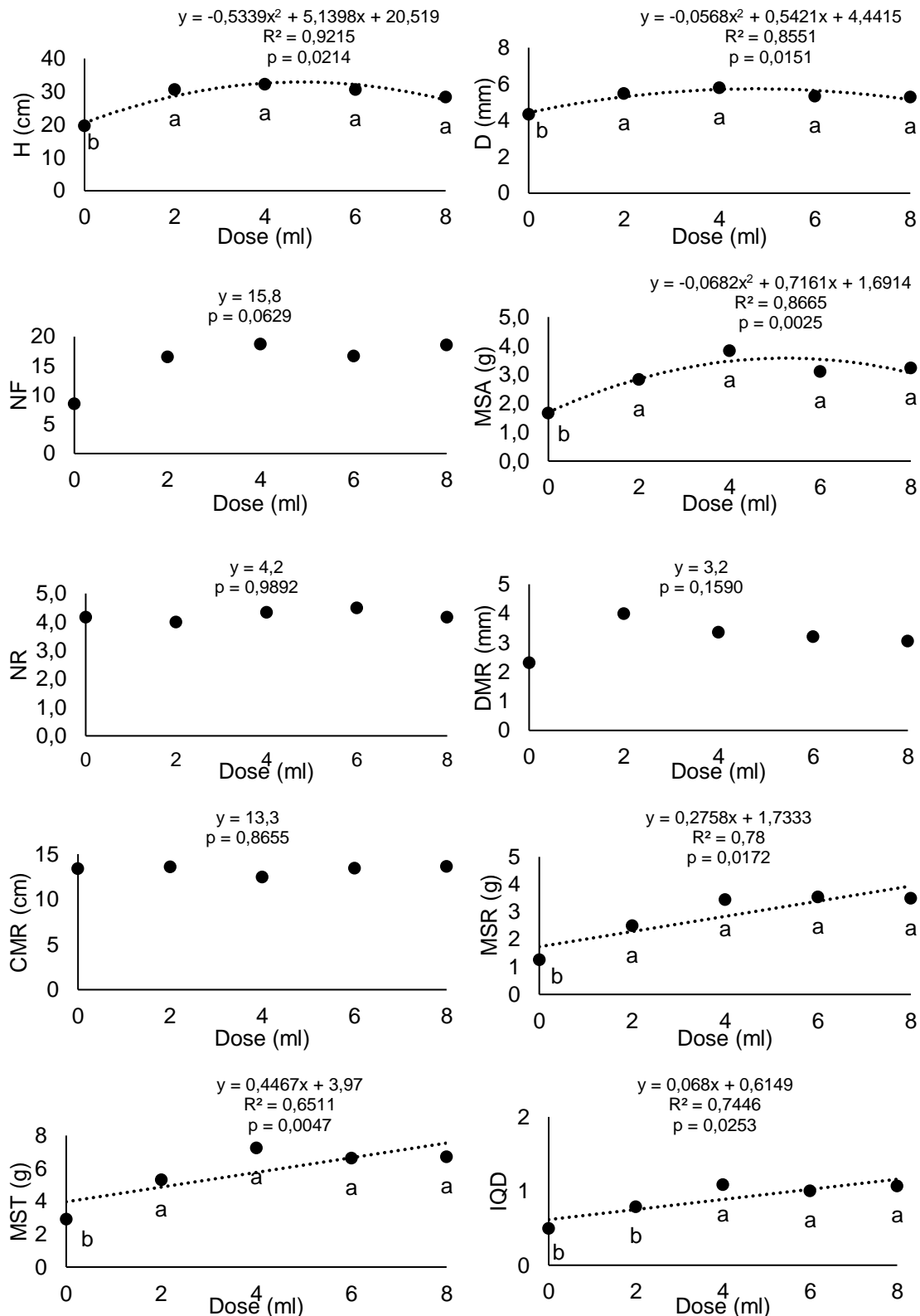


Figura 13. Comportamento das variáveis morfológicas de mudas de erva-mate às diferentes doses de nanofertilizante. H = altura da parte aérea; D = diâmetro do coleto; NF = número de folhas MSA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca das raízes; NR = número de raízes; CMR = comprimento médio das raízes; DMR = diâmetro médio das raízes; MST= massa seca total; IQD = Índice de qualidade de Dickson. R^2 = coeficiente de determinação. p = p-valor da anova. Médias seguidas pela mesma letra não se diferenciam pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

A adubação nitrogenada é bastante empregada em mudas de erva-mate, em estudo similar de adubação com fertilizantes nitrogenados, Santin *et al.* (2013), encontraram para a variável altura, no melhor tratamento, média de 32,1 cm corroborando com a média obtida no tratamento T2 (32,2 cm). Os autores obtiveram 4,2 mm no diâmetro do coleto, corroborando com a média geral obtida nas doses de ureia (4,5 mm), já em comparação com o nanofertilizante a média geral mostrou-se bastante acima (5,23 mm), demonstrando maior eficiência da absorção do nitrogênio pelas mudas evidenciada pelo crescimento do coleto das mudas de erva-mate.

Por se tratar de uma cultura em que as folhas são primordiais, devido principalmente ao uso na bebida chimarrão, as mudas de erva-mate apresentam desde a germinação demasiada preocupação com está variável. Em linhas gerais, o nitrogênio é um dos nutrientes mais exportados, especialmente quando a colheita abrange as folhas (Lima; Santos, 2022; Lobo *et al.*, 2019; Soares, P. P. de S. *et al.*, 2020).

Assim, nota-se a importância do incremento do número de folhas, corroborando com os resultados verificado nos tratamentos com nanofertilizante, em que foi constatado um aumento percentual acima de 70% no número de folhas no tratamento T2 em comparação com o melhor resultado obtido na utilização de ureia convencional (T5), demonstrando a eficiência do nanofertilizante para essa variável de maneira satisfatória.

Esse resultado corrobora com a massa seca da parte aérea (MSA), que apresentando incremento percentual acima de 60%. Em linhas gerais, a adubação nitrogenada promove aumento da produção de massa da parte aérea, especialmente na erva-mate (Lima; Santos, 2022; Lobo *et al.*, 2019; Pagliosa *et al.*, 2010; Santin *et al.*, 2019b).

Em viveiro, especialmente para mudas produzidas em tubetes, o sistema radicular deve ter um tamanho suficiente que permita o suprimento adequado de água para a parte aérea. Ademais, plantas que desenvolvem sistema radicular mais robusto durante a sua permanência em viveiro apresentam maior probabilidade de sobrevivência após plantio à campo, tendo em vista que quanto maior for a biomassa radicular melhor será a aclimação quando comparadas com aquelas que possuem sistema radicular diminuto (Gomes *et al.*, 2019; Mereles *et al.*, 2020). Em relação ao sistema radicular obtido em

erva-mate, verificou-se que as quatro variáveis analisadas (NR, DMR, CMR e MSR) foram superiores no tratamento com nanofertilizante,

Para mudas de erva-mate, há a utilização expressiva de adubação nitrogenada, principalmente para a formação da parte aérea, no entanto cabe ressaltar que resultados desfavoráveis em razão da suplementação nitrogenada em mudas foram observados em diferentes estudos com mudas da espécie, seja através da propagação vegetativa ou seminal (Mazuchowski, 2004; Soares, M. T. S. *et al.*, 2020).

Os valores da massa seca total (MST), mostrou que em doses médias, principalmente no tratamento T2, com aplicação de 4 ml de nanofertilizante por muda foi onde houve maior destaque apresentando incremento acima de 60% em relação ao pior tratamento (T0), uma vez que não há N disponível para a planta. Estudando diferentes adubações em mudas de erva-mate Pinto; Matumoto Pinto; Schwan-Estrada (1998), e Zavistanovicz *et al.* (2017). verificaram que ao passo em que há a diminuição do nitrogênio a massa seca diminuí corroborando com os resultados obtidos no presente estudo.

Nos tratamentos onde houve aplicação de ureia foi constatado através de análise de variância que as doses de aplicadas foram significativas para as variáveis H (altura da planta), MSA (massa seca da parte aérea), MSR (massa seca das raízes), MST (massa seca total) e o IQD (índice de qualidade de Dickson), que apresentaram comportamento quadrático positivo. As demais variáveis apresentaram p-valor maior que 5% de significância (Figura 14).

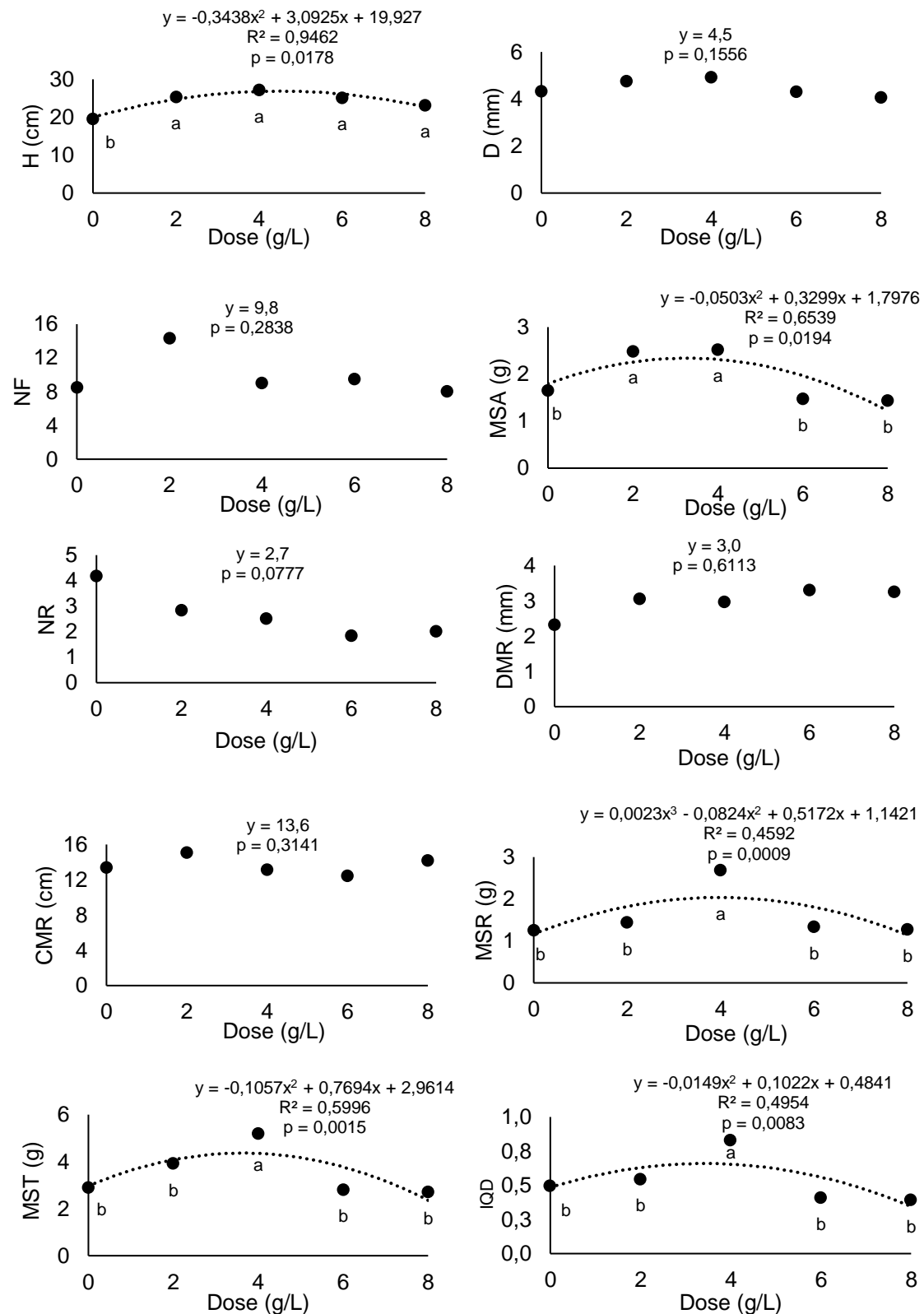


Figura 14. Comportamento das variáveis morfológicas de mudas de erva-mate às diferentes doses de ureia. H = altura da parte aérea; D = diâmetro do coleto; NF = número de folhas; MSA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca das raízes; NR = número de raízes; CMR = comprimento médio das raízes; DMR = diâmetro médio das raízes; MST = massa seca total; IQD = Índice de qualidade de Dickson. R^2 = coeficiente de determinação. p = p-valor da anova. Médias seguidas pela mesma letra não se diferenciam pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Amplamente utilizado quando se trata de produção de mudas em viveiro, o Índice de Qualidade de Dickson (IQD), é um indicador da qualidade da muda que utiliza dados morfológicos de maneira conjunta, e através do seu cálculo são indicados os níveis de robustez e equilíbrio da distribuição da biomassa na muda (Fonseca *et al.*, 2002).

Assim como a MST, o IQD apresentou melhores resultados no tratamento onde houve a aplicação de nanofertilizante e através da análise de correlação (Figura 15) pode-se verificar que a massa seca da parte aérea (MSA), massa seca das raízes (MSR), massa seca total (MST) e IQD estão diretamente correlacionados ($p < 0,001$), sendo os tratamentos com maiores valores de aplicação de nanofertilizante, proporcionaram maiores valores de IQD, evidenciando a produção de mudas com melhores padrões de qualidade, já que este índice utiliza diversas variáveis morfológicas para o seu cálculo. As três maiores aplicações, apresentaram valores mais próximo a 1.

Através da análise de correlação de Pearson (Figura 15), verificou-se também a ocorrência de significância ($p < 0,001 = ***$) maior que 90% entre as variáveis: MSR x MST (0,963) e MSA x MST (0,926). Os menores valores de correlação foram observados para: NR x DMR (-0,479); NR x CMR (-0,348) e D x CMR (-0,207). Na produção de mudas de erva mate com a aplicação de nanofertilizante foi verificado uma menor influência das características morfológicas do sistema radicular sobre as variáveis de parte aérea e peso de matéria seca e da dose em relação ao sistema radicular. O que pode ser evidenciado com os menores valores de correlação encontrados: MSR x NR (0,07); MSR x DMR (0,11) e DOSE X CMR, NR e DMR com valores de 0,022; 0,045 e 0,083 respectivamente.

Ainda sobre a baixa correlação entre a dose de nanofertilizante o enraizamento, verifica-se resultados semelhantes em estudos realizados por Fachinello; Lucchesi; Gutierrez (1988), em que os autores relatam que ao passo que há diminuição das doses de nitrogênio, estacas de macieira aumentaram o enraizamento de maneira geral e Haissig (1986).

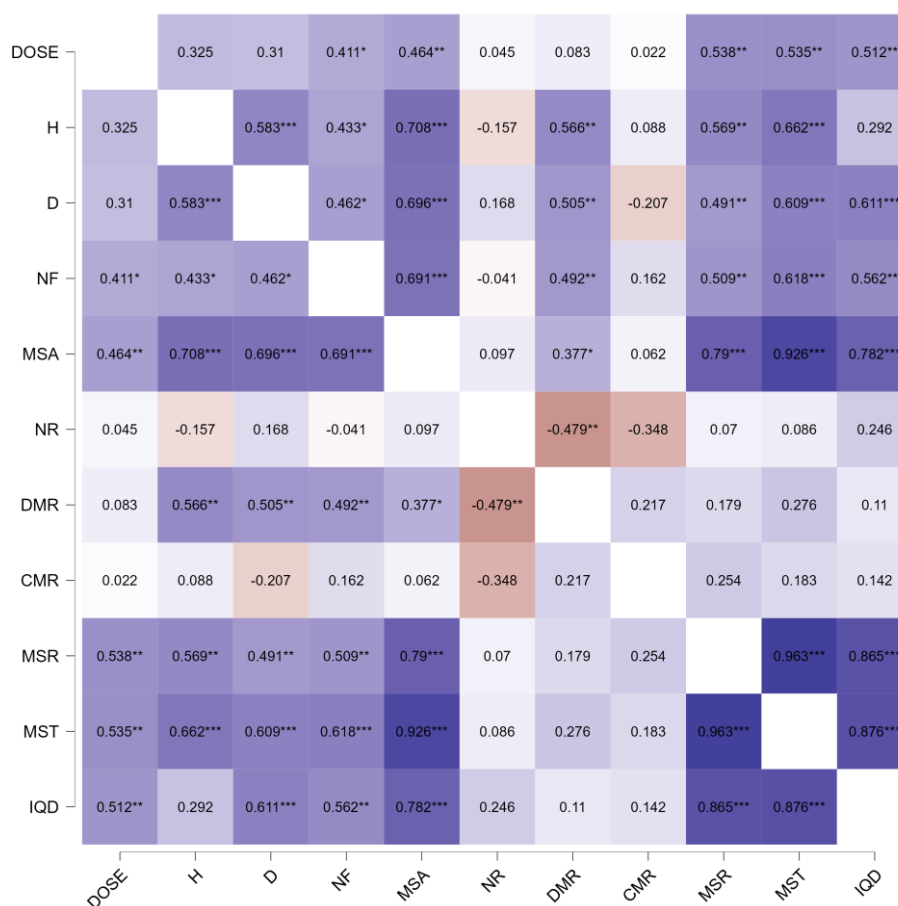


Figura 15. Representação gráfica da correlação de Pearson para variáveis morfológicas de erva-mate, com diferentes doses de nanofertilizante em adubação de cobertura. H = altura da parte aérea; D = diâmetro do coleto; NF = número de folhas MSA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca das raízes; CMR = comprimento médio das raízes; DMR = diâmetro médio das raízes; MST = massa seca total e IQD = índice de qualidade de Dickson. Nível de significância: * = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$ e *** = $p < 0,001$.

Nos tratamentos onde houve aplicação de ureia, a análise de correlação de Pearson (Figura 16), apresentou correlações significativa $p < 0,001$ em diversas variáveis. Destaca-se a D; MSA; MSR e MST x IQD com 0,749; 0,723; 0,891; 0,93 respectivamente. Os resultados obtidos na correlação entre a massa seca da parte aérea e a total corroboram com estudos realizados por Galarça et al. (2010), relatando que quanto maior o número de folhas e galhos maior é a produção de massa seca total.

De maneira geral, o N é um dos elementos base para o desenvolvimento das plantas, auxiliando de forma majoritária na formação da qualidade nutricional, participando de diferentes atividades da vida vegetal como formação de clorofila e principalmente o crescimento em geral (Aliyu *et al.*,

2008; Yang *et al.*, 2022), corroborando com os resultados obtidos na correlação DOSE x MST (0,535).

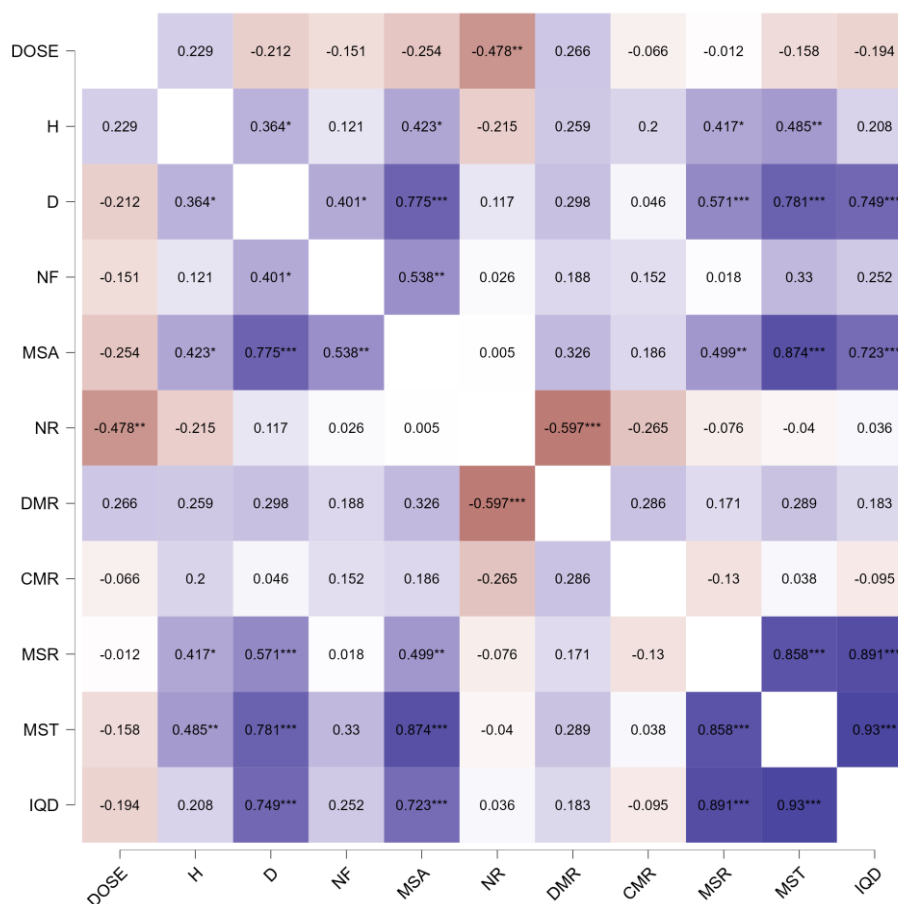


Figura 16. Representação gráfica da correlação de Pearson para variáveis morfológicas de erva-mate, com diferentes doses de ureia em adubação de cobertura. H = altura da parte aérea; D = diâmetro do coleto; NF = número de folhas MSA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca das raízes; CMR = comprimento médio das raízes; DMR = diâmetro médio das raízes; MST = massa seca total e IQD = índice de qualidade de Dickson. Nível de significância: * = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$ e *** = $p < 0,001$.

Em síntese a correlação demonstrou em ambas as fontes de N, nanofertilizante e ureia, que o diâmetro do coleto (D) tem correlação significativa com a massa seca ($p < 0,01$ e $p < 0,001$), o que pode ser considerado uma variável explicativa à espécie uma vez que o diâmetro do coleto é considerado um indicativo adequado para prever a qualidade de mudas (GOMES; PAIVA, 2011), corroborando com a forte correlação apresentada com o IQD ($p < 0,001$).

A Figura 17, mostra a partir da análise canônica, que o tratamento com a aplicação de 4 ml/muda, elucida os maiores valores médios nas variáveis: NF; DC; MSPA; MSR; MST; IQD. Das 10 variáveis estudadas, 6 foram superiores no tratamento com aplicação de nanofertilizante (T2). Este tratamento teve

maior influência nos valores médios associados à parte aérea das mudas de erva mate, enquanto os tratamentos com menores aplicações influenciaram a obtenção de maiores valores médios nas variáveis associadas ao sistema radicular.

As maiores dosagens de fertilizante propiciaram maiores valores médios em parte aérea e não em sistema radicular. O tratamento sem aplicação de adubação (T0), não teve influência sobre as variáveis associadas à parte aérea, nem nas de sistema radicular, evidenciando o quanto a adubação de cobertura com nanofertilizante proporcionou ganhos no crescimento e na qualidade das mudas em viveiro, porém deve-se ressaltar que as aplicações com 6 e 8 mL/muda de nanofertilizante, também não mostraram influência na análise dos valores médios do conjunto das variáveis.

Em regra, para adubação de cobertura, deve-se haver conhecimento de dosagens e aplicações mais detalhadas já que as espécies podem apresentar tanto sintomas de deficiência e menor crescimento em dosagens limitadas, quanto sintomas de toxidez e influência no crescimento em caso de adubação excessiva (Renneberg; Berkling; Loroch, 2017; Rosolem; Bastos, 2013).

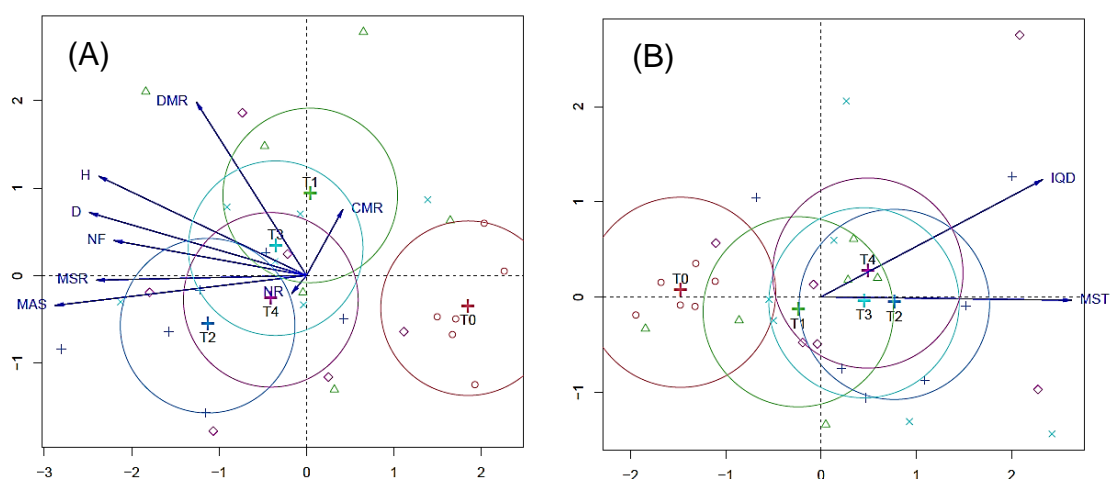


Figura 17. Representação gráfica das variáveis canônicas para variáveis morfológicas (A) e de qualidade (B) em mudas de erva-mate com aplicação de nanofertilizante. H = altura da parte aérea; D = diâmetro do coleto; NF = número de folhas MSA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca das raízes; CMR = comprimento médio das raízes; DMR = diâmetro médio das raízes; MST = massa seca total e IQD = índice de qualidade de Dickison.

A análise de variáveis canônicas, nos tratamentos com aplicação de ureia (Figura 18), indicou que a massa seca da parte aérea (MSA), massa seca

das raízes (MSR) e o diâmetro (D) tiveram incremento de 35, 53 e 12% respectivamente, no tratamento com 4g/L^{-1} (T6) em comparação com a testemunha (T0). O número de raízes (NR) foi superior no tratamento testemunha (T0) em relação aos demais tratamentos, com incremento de xxx quando comparado ao segundo melhor tratamento nesse quesito (T5).

Para as variáveis massa seca total (MST) e o índice de qualidade de Dickison (IQD), a análise de variáveis canônicas indicou que houve um incremento de 45 e 39% respectivamente no tratamento 4g/L^{-1} (T6) em relação à testemunha (T0), nota-se também a influência desse tratamento em relação às duas variáveis.

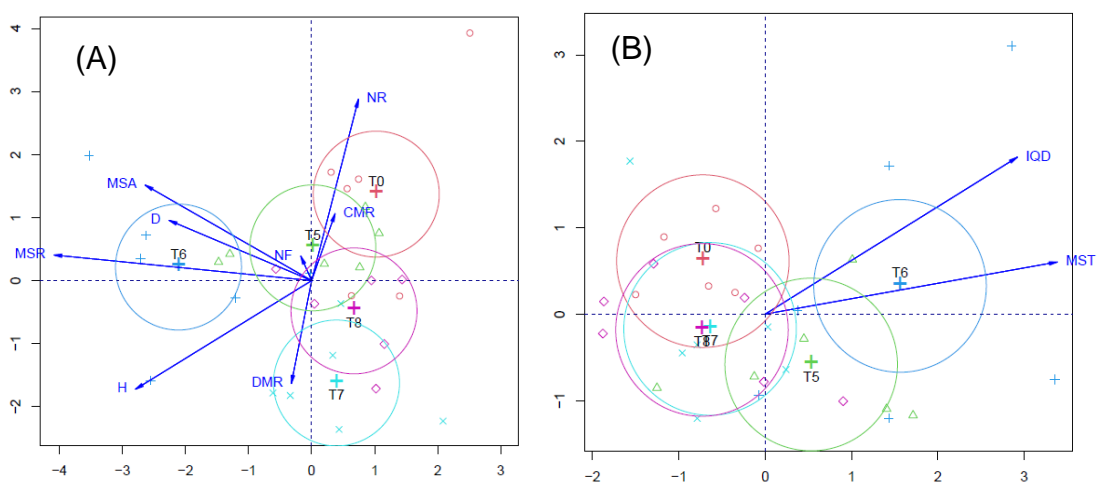


Figura 18. Representação gráfica das variáveis canônicas para variáveis morfológicas (A) e de qualidade (B) em mudas de erva-mate com aplicação de ureia. H = altura da parte aérea; D = diâmetro do coleto; NF = número de folhas; MSA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca das raízes; CMR = comprimento médio das raízes; DMR = diâmetro médio das raízes; MST = massa seca total e IQD = índice de qualidade de Dickison.

Os tratamentos de nanofertilizante e ureia com maiores médias nas características morfológicas foram T2 e T6 respectivamente. Visando obter a melhor fonte de nitrogênio para mudas de erva-mate, as duas foram comparadas entre si (Tabela 6).

Tabela 6. Médias dos melhores resultados dos aspectos morfológicos nos tratamentos de nanofertilizante e ureia em erva-mate.

TRATAMENTO	Dose	H	D	NF	MSA	NR	DMR	CMR	MSR	MST	IQD
T2 (Nano)	4ml	32,2 _a	5,8 _a	19,2 _a	4,1 _a	4,4 _a	3,4 _a	12,6 _a	3,7 _a	7,8 _a	1,1 _a
T6 (Ureia)	4g/L ⁻¹	27,1 _b	4,9 _a	10,0 _b	2,5 _b	2,7 _b	3,0 _a	12,8 _a	2,5 _a	5,1 _b	0,8 _a

H = altura da parte aérea; D = diâmetro do coleto; NF = número de folhas MSA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca das raízes; NR = número de raízes; CMR = comprimento médio das raízes; DMR = diâmetro médio das raízes; MST= massa seca total; IQD = Índice de qualidade de Dickson. Médias seguidas pela mesma letra não se diferenciam pelo teste f anova a 5% de probabilidade.

De maneira geral, através da síntese das diferentes análises aplicadas nas médias obtidas nos parâmetros morfológicos de erva-mate, constata-se que aplicação de diferentes doses de nitrogênio nas mudas proporcionou aumentos na qualidade das mudas, especialmente na utilização de nanofertilizante.

Constatou-se que a espécie respondeu de forma diferenciada às doses nanofertilizante cabendo destacar que na literatura, até o momento, não há relatos do uso de nanofertilizantes na produção de mudas de erva-mate em viveiro. Diante das diferentes análises constata-se que H foi significativamente superior no tratamento onde houve aplicação de nanofertilizante (T2) em relação a aplicação da ureia (T6).

Ademais, a altura da parte aérea é um bom parâmetro para se avaliar o padrão de qualidade de mudas florestais, uma vez que mudas com maior altura, normalmente, apresentam maior vigor, além de ser uma variável de fácil determinação e um método não destrutivo (PASQUETTI et al., 2016; SOMAVILLA et al., 2014).

Outro fator muito importante é o diâmetro do coleto (D), e através dos resultados pode-se constatar um acréscimo de 16% no tratamento T2 em comparação ao T6. À vista disso, mudas com melhor relação altura/diâmetro demonstram maior equilíbrio e conseqüentemente maior vigor (MENEGATTI et al., 2009), o que facilita o manejo no campo bem como são maiores as chances de sobrevivência da muda.

Na generalidade, mudas de boa qualidade devem apresentar altura variando entre 15 e 35 cm e diâmetro do colo entre 5 e 10mm, sendo desta forma, consideradas aptas para o plantio à campo. Para o Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), por meio da implementação da

Lei de Sementes e Mudanças de Espécies Florestais (Lei 10.711, Decreto 5.153 de 2004) mudas de espécies florestais nativas ou exóticas, deverão apresentar padrão mínimo de 3 mm de diâmetro do colo e 20 cm de altura (MAPA, 2004).

O uso adequado de nutrientes juntamente com substratos de qualidade, em condições de viveiros, são fatores que contribuem para o rápido aumento foliar das mudas em formação (SMIDERLE et al., 2016), contribuindo para o rápido crescimento e desenvolvimento da muda em altura, uma vez que as folhas estão envolvidas nos processos de conversão de energia luminosa em energia química (TAIZ e ZEIGER, 2013).

Nessa fase as plantas requerem grande disponibilidade de nutrientes, especialmente de nitrogênio (BARRETO et al., 2016), evidenciando a importância da utilização do nanofertilizante, sendo que ele apresentou incremento acima de 50% em relação ao fertilizante convencional (ureia).

Outra característica muito importante para mudas produzidas em viveiro é o enraizamento, pois proporciona diversos benefícios para muda como melhor absorção de nutrientes e água, facilita o manejo de troca de recipiente e a confecção de rocambole para transporte, através da melhoria da agregação do substrato. A presença de maior quantidade de raízes também pode ajudar as mudas no período de transplante a campo dando maior chances de sobrevivência (NAVROSKI, 2013), uma vez que mudas com maior enraizamento possuem maior absorção de água e nutrientes.

Smiderle e Souza (2016), destacam que se deve considerar o quão superior é o valor da massa seca total como indicador da qualidade das mudas produzidas, uma vez que está diretamente correlacionado com a produção de folhas e de raízes, fazendo com que a muda apresente IQD satisfatório.

O IQD é um bom indicador da qualidade das mudas, pois em seus cálculos são considerados a robustez e o equilíbrio na distribuição da biomassa, ponderando resultados de vários parâmetros importantes. As variáveis morfológicas e os índices utilizados para avaliação da qualidade das mudas podem ser utilizados isoladamente ou em conjunto, para classificação do padrão da qualidade de mudas, desde que sejam empregados em mudas desenvolvidas em condições de ambiente semelhantes (FONSECA, 2002).

Cabe destacar que avaliações nutricionais foliares de macro e micronutrientes são imprescindíveis, tendo em vista que aspectos morfológicos

considerados dentro dos parâmetros mínimos exigidos podem conter deficiências nutricionais devido a uma série de fatores, principalmente espécies como a erva-mate que toleram bem determinados nutrientes em contrapartida de outros.

Assim, foi apurado os conteúdos de macro e micronutrientes da parte aérea das mudas de erva-mate e constatou-se que eles foram influenciados pelos diferentes tipos de adubação de cobertura (Tabela 7). Através dos resultados da análise de variância, foi constatada a ocorrência de diferença estatística significativa nas variáveis nutricionais N, P, K, Ca, B, Fe, Mn e Zn. Para Mg, S e Cu não houve significância detectada. A utilização do nanofertilizante potencializou o uso da adubação de cobertura em erva-mate, permitindo ganhos nos conteúdos nutricionais das mudas, principalmente Nitrogênio, com incremento acima de 10% em relação ao tratamento em que não foi aplicada nenhuma adubação.

Tabela 7. Conteúdos de macro (g/Kg) e micronutrientes (ppm) da parte aérea de mudas de erva-mate produzidas com diferentes formas e doses de adubação de cobertura

Nutriente	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
ZAPL	31,2b	8,1a	19,1a	13,0a	6,97a	1,98a	20,6c	9,7a	540,8a	729,7a	118,8a
NANO	34,8a	5,2b	13,5b	8,0c	5,96a	2,6a	33,8b	8,5a	371,3c	519,9b	81,5c
UREIA	28,2c	4,3b	18,13a	10,0b	7,07a	2,1a	36,8a	8,8a	391,4b	455,6c	111,9b

ZAPL= Nenhuma aplicação nutricional (TO); NANO = Nanofertilizante (T1, T2, T3 e T4); UREIA = T5, T6, T7 e T8 N = nitrogênio; P = Fósforo; K = Potássio; Ca = Cálcio; Mg = Magnésio; S = Enxofre; B= Boro; Cu = Cobre; Fe = Ferro; Mn = Manganês; Zn = Zinco. Médias seguidas pela mesma letra não se diferenciam pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Os valores nutricionais de N juntamente com os resultados do crescimento (dados morfológicos) encontrados nas mudas de erva-mate evidencia a superioridade que o nanofertilizante proporcionou em ambos os atributos. Sabe-se que o nitrogênio é principal nutriente para o crescimento das plantas (Illenseer; Paulilo, 2002; Silva; Delatorre, 2009), demonstrando a importância de novas tecnologias que venham a otimizar a utilização do nitrogênio na adubação como um todo.

O valor de N (34,8 g/kg) encontrado na parte aérea (folhas e galhos) de erva-mate ficou acima de valores encontrados por Gaiad; Rakocevic; Reissmann (2003), que ao estudarem adubação de mudas de erva-mate com diferentes fontes de N encontraram 25,41; 28,26; 27,87 para amônio, ureia e

nitrito respectivamente, e corroborando com o valor encontrado em ureia (28,2) mostrando pouca diferença entre fertilizantes convencionais.

Através da análise de variáveis canônicas (Figura 19), fica evidente o incremento de 19% corresponde a comparação do N obtido nos tratamentos onde houve aplicação de nanofertilizante em relação a ureia. Para os demais macros e micronutrientes, verifica-se uma inconstância quanto ao melhor tratamento, cabendo destacar que para essas variáveis não havia formulação aplicada especificamente. Em relação aos macronutrientes P e K, os valores ficam abaixo do encontrado por Pandolfo et al. (2003) com 27,7 e 29,5 g/Kg respectivamente, ao utilizar diferentes fontes de NPK em erva-mate.

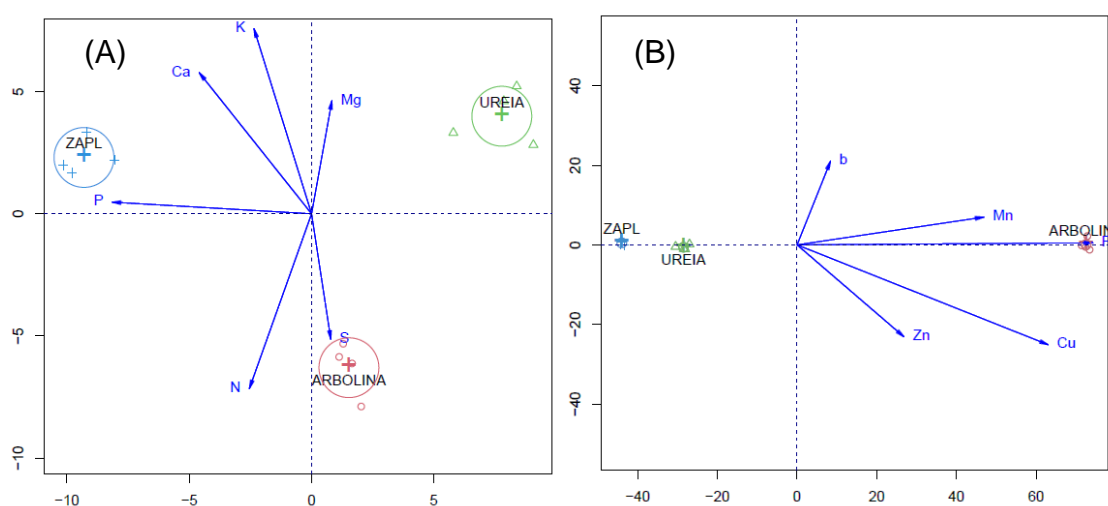


Figura 19. Representação gráfica das variáveis canônicas para variáveis nutricionais dos macronutrientes (A), e micronutrientes (B) em erva-mate, com diferentes doses de nanofertilizante e ureia em adubação de cobertura. 0, 2, 4, 6 e 8 ml de nanofertilizante e 2, 4, 6 e 8 g/litro de ureia (g L^{-1}). N = nitrogênio; P = Fósforo; K = Potássio; Ca = Cálcio; Mg = Magnésio; S = Enxofre; B= Boro; Cu = Cobre; Fe = Ferro; Mn = Manganês; Zn = Zinco.

Os valores de Ca e Mg (25 e 30 g/Kg respectivamente) apresentaram um incremento de 20 e 15,7% quando se compara a ureia ao nanofertilizante. Porém, ficam abaixo de valores encontrados por Radomski et al. (1992) com 25 e 30 g/kg para Ca e Mg respectivamente.

Em relação aos micronutrientes Cu, Zn os valores apresentam valores dentro do normal, sendo comparada com a taxa de variação de micronutrientes descrita por Radomski et al. (1992), com 5 a 50 ppm para Cu e 28 a 125 ppm para Zn. Já para Mn (698 a 2520 ppm) somente o tratamento onde não foi aplicado nenhuma adubação ficou dentro do parâmetro, e para o

Fe (60 a 183 ppm) verificamos valores muito acima da faixa ótima descrita pelos autores.

Cabe destacar que plantas submetidas a concentrações elevadas de Fe absorvem e acumulam grandes quantidades em seus tecidos, trazendo consigo sintomas típicos de toxicidade, como amarelecimento das folhas e escurecimento das raízes, causando severas reduções no crescimento e na produtividade das plantas (Arrivabene *et al.*, 2015; Chatterjee; Gopal; Dube, 2006; Greipsson; Crowder, 1992; Jucoski *et al.*, 2016; Siqueira-Silva *et al.*, 2012).

Através da análise de variância, foi constatada a ocorrência de diferença estatística significativa nas variáveis referentes à lixiviação de N pelas mudas de erva-mate (Tabela 8). A ureia ficou com maior valor de nitrogênio lixiviado, apresentando acréscimo de 35% em relação ao nanofertilizante.

O resultado da lixiviação obtido da comparação do nanofertilizante com a ureia convencional, corrobora com um compilado de estudos, que relatam que a lixiviação dos nanofertilizantes é em média 30% menor (Ahmad *et al.*, 2023; Al-Mamun *et al.*, 2021; Grewal; Goel; Arya, 2023; Guleria *et al.*, 2023; Ijaz *et al.*, 2023; Mahawar *et al.*, 2023; Sheoran *et al.*, 2021a, 2021b; Vanti; Belur; Husen, 2023; Venkatachalam *et al.*, 2017).

Tabela 8. Variáveis de lixiviação em mudas de erva-mate com diferentes doses de nanofertilizante e ureia em adubação de cobertura.

Nutriente	N total (mg/L)	Carbono Orgânico (%)
ZAPL	0,16a	0,0
NANO	0,67b	0,230
UREIA	1,02c	0,140

ZAPL= Nenhuma aplicação nutricional (T0); NANO = Nanofertilizante (T1, T2, T3 e T4); UREIA = T5, T6, T7 e T8. N = nitrogênio. Médias seguidas pela mesma letra não se diferenciam pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

A ureia ainda caracteriza uma fonte de nitrogênio demasiada utilizada em diversas áreas agrícolas e florestais e, quando aplicada de forma convencional, é suscetível a perdas principalmente por volatilização e lixiviação (BOURSCHEIDT *et al.*, 2019; DONG *et al.*, 2023)

Ademais, métodos pouco eficazes de aplicação de ureia reduzem a eficiência do uso de nitrogênio pelas plantas, limitando o rendimento das culturas e, além disso, contribui-se para a poluição ambiental em termos de

emissões gasosas NH_3 e N_2O e eutrofização da água (LIU et al., 2019; SIM et al., 2024).

Estudos demonstram que há uma perda por lixiviação de 25 a 70% de nitrogênio quando aplicado na forma convencional de ureia (Barakat; Cheviron; Angulo-Jaramillo, 2016; Chiaregato; Souza; Faez, 2021; Ernani; Sangoi; Rampazzo, 2002; Majaron *et al.*, 2020), corroborando com a diferença obtida entre o tratamento sem aplicação de nenhum nutriente com a ureia (84%).

Através da análise de variáveis canônicas (Figura 20), fica evidente o aumento da lixiviação de N na utilização de adubação convencional na forma de ureia em comparação aos tratamentos onde foram aplicadas doses de nanofertilizante arbolina, com incremento de 35%. Para o tratamento T0 (ZAPL), o valor de N é praticamente nulo (0,16 mg/L), quando comparados com os demais tratamentos, algo já esperado, uma vez que não houve nenhuma aplicação de adubação de cobertura.

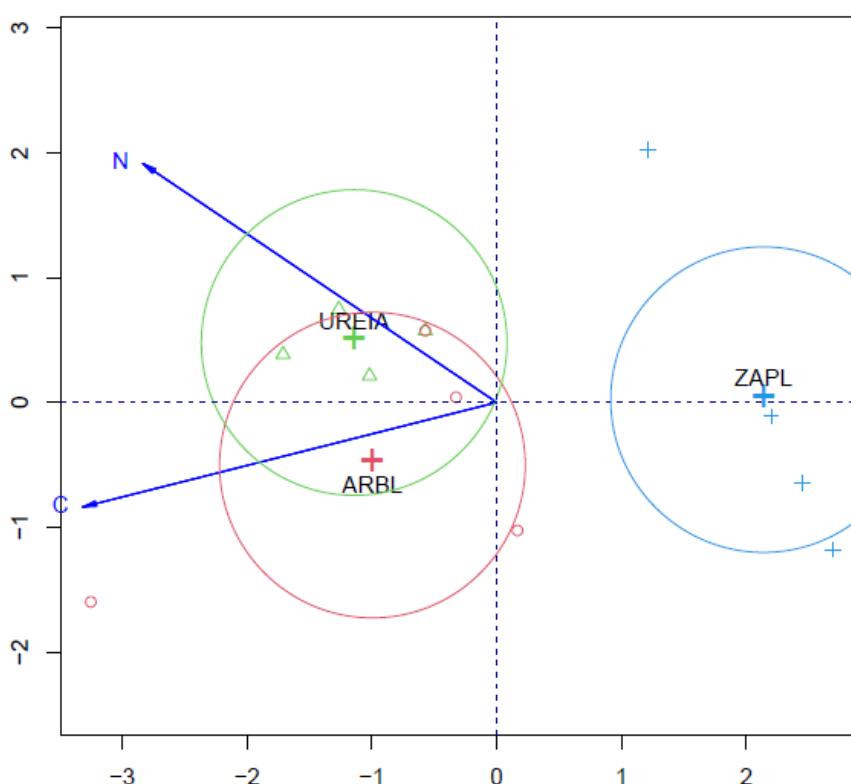


Figura 20. Representação gráfica das variáveis canônicas para lixiviação em mudas de erva-mate com diferentes doses de nanofertilizante e ureia em adubação de cobertura. 0 (ZAPL), 2, 4, 6 e 8 ml de nanofertilizante (Arbolina) e 2, 4, 6 e 8 (g L^{-1}) de ureia. N = nitrogênio lixiviado; C = carbono lixiviado.

4. CONCLUSÕES

A aplicação de nanofertilizante arbolina através da adubação de cobertura promoveram maior qualidade morfológica e teores de macro e micronutrientes da parte aérea de mudas de erva-mate.

A espécie respondeu de forma diferenciada ao nanofertilizante, sendo que as mudas que obtiveram melhores respostas estavam contidas no tratamento T2, com aplicação de 4 ml por muda.

O nanofertilizante reduziu substancialmente a lixiviação do principal nutriente aplicado, N, reduzindo danos ao meio ambiente e produzindo mudas de maior qualidade.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDULHAMEED, M. F.; TAHA, A. A.; ISMAIL, R. A. Improvement of cabbage growth and yield by nanofertilizers and nanoparticles. **Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management**, v. 15, p. 100437, 2021.

AFONSO, A. et al. Respostas nutricionais de mudas de sumaúma à adubação nitrogenada, fosfatada e potássica. **Científica**, v. 44, n. 3, p. 421–430, 2016.

AHMAD, F. et al. Influence of silicon nano-particles on *Avena sativa* L. to alleviate the biotic stress of *Rhizoctonia solani*. **Scientific Reports**, v. 13, n. 1, 2023.

ALIYU, A. et al. Phytochemical analyses and mineral elements composition of some medicinal plants of Northern Nigeria. **Journal of Pharmaceutical Sciences**, Vol. 7 No. 1, P. 119– 125, 2008.

ALLISON, L. E. Wet-Combustion Apparatus and Procedure for Organic and Inorganic Carbon in Soil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 24, n. 1, p. 36–40, 1960.

AL-MAMUN, M. R. et al. Nanofertilizers towards sustainable agriculture and environment. **Environmental Technology & Innovation**, v. 23, p. 101658, 2021.

PASQUETTI, A. L. B. et al. Growth of *Cordia trichotoma* seedlings in different sizes of recipients and doses of fertilizer. **African Journal of Agricultural Research** v. 11, n. 28, p. 2450–2455, 2016.

APHA –AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for examination of water and wastewater**. 19. ed. Washinton: American Public Health Association, 1995.

ARRIVABENE, H. P. et al. Effect of pollution by particulate iron on the morphoanatomy, histochemistry, and bioaccumulation of three mangrove plant species in Brazil. **Chemosphere**, v. 127, p. 27–34, 2015.

BARAKAT, M.; CHEVIRON, B.; ANGULO-JARAMILLO, R. Influence of the irrigation technique and strategies on the nitrogen cycle and budget: A review. **Agricultural Water Management**, v. 178, p. 225–238, 2016.

BARROSO, G. L. DE F. et al. Erva-mate, muito mais que uma tradição, um verdadeiro potencial terapêutico. **Revista Eletrônica de Farmácia**, v. 8, n. 3, p. 13–13, 2011.

BASAVEGOWDA, N.; BAEK, K. H. Current and future perspectives on the use of nanofertilizers for sustainable agriculture: the case of phosphorus nanofertilizer. **Biotech**, v. 11, n. 7, p. 1–21, 2021.

BATAGLIA, O. C. et al. **Métodos de análise química de planta**. Campinas: 1983.

BHERING, L. L. Rbio: A tool for biometric and statistical analysis using the R platform. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 17, n. 2, p. 187–190, 2017.

BÖHM, W. Methods of Studying Root Systems. **Ecological Studies**. v. 33, 1979.

BOURSCHEIDT, M. L. B. et al. Estratégias de fornecimento de nitrogênio em pastagens: fertilizante mineral, inoculante bacteriano e consórcio com amendoim forrageiro. **Scientific Electronic Archives**, v. 12, n. 3, 2019.

CARDOSO, M. R. D.; MARCUZZO, F. F. N.; BARROS, J. R. Classificação Climática de Köppen-Geiger para o Estado de Goiás e o Distrito Federal. **ACTA GEOGRÁFICA**, v. 8, n. 16, p. 40–55, 2014.

CARDOZO, A. G. L. et al. Yerba mate (*Ilex paraguariensis* A. St. – hil.): a comprehensive review on chemical composition, health benefits and recent advances. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 11, p. e590101120036–e590101120036, 2021.

CHATTERJEE, C.; GOPAL, R.; DUBE, B. K. Impact of iron stress on biomass, yield, metabolism and quality of potato (*Solanum tuberosum* L.). **Scientia Horticulturae**, v. 108, n. 1, p. 1–6, 2006.

CHECHI, L. A. et al. Ativos territoriais e desenvolvimento. **Revista Estratégia e Desenvolvimento**, v. 1, n. 1, 2017.

CHIAREGATO, C. G.; SOUZA, C. F.; FAEZ, R. The fertilizer release into water and soil as the biodegradation process in the sustainable material enhancing the fertilizer efficiency. **Environmental Technology & Innovation**, v. 22, p. 101417, 2021.

COSTA, C. C.; ALMEIDA, L. E.; CASTRO, V. R. DE. Evaluation of the morphological parameters of native species of the Atlantic Forest in biodegradable tubes. **Revista Ambientale**, v. 12, n. 4, p. 44–54, 2020.

DENG, W. et al. Heml: A toolkit for illustrating heatmaps. **PLoS ONE**, v. 9, n. 11, 2014.

DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. QUALITY APPRAISAL OF WHITE SPRUCE AND WHITE PINE SEEDLING STOCK IN NURSERIES. v. 36, n. 1, p. 10–13, 1960.

DONG, S. et al. Introduction of bio-based hard segment as an alternative strategy to environmentally friendly polyurethane coated urea. **Industrial Crops and Products**, v. 203, 2023.

DUARTE, M. M. et al. Adubação nitrogenada na miniestaquia de erva-mate. **Advances in Forestry Science**, v. 7, n. 2, p. 981–988, 2020.

DUBOC, E. **Erva-Mate: Parâmetros para Seleção de Planta Matriz e Área de Coleta de Sementes**. Dourados, 2015.

ERNANI, P. R.; SANGOI, L.; RAMPAZZO, C. Lixiviação e imobilização de nitrogênio num nitossolo como variáveis da forma de aplicação da uréia e da palha de aveia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 4, p. 993–1000, 2002.

FACHINELLO, J. C.; LUCCHESI, A. A.; GUTIERREZ, L. E. Influência do anelamento na nutrição e no enraizamento de estacas lenhosas do porta-enxerto “Malling-Merton 106”. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 23, n. 9, p. 1025–1031, 1988.

FERNANDES, M. et al. Crescimento e qualidade de mudas de *Citharexylum myrianthum* em resposta à fertilização nitrogenada. **Advances in Forestry Science**, v. 6, n. 1, p. 507–513, 2019.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a guide for its bootstrap sisvar: a guide for its bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciênc. agrotec.**, v. 38, 2014.

FLEIG, F. D.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. Influência do espaçamento e idade da brotação na morfometria de povoamentos de *Ilex paraguariensis* St. Hill. **Ciência Florestal**, v. 13, n. 1, p. 73–88, 2003.

FONSECA, E. et al. Padrão de qualidade de mudas de *Trema micrantha* (L.) Blume, produzidas sob diferentes períodos de sombreamento. **Revista Árvore**, v. 26, n. 4, p. 515–523, 2002.

GABIRA, M. M. et al. Industrial residues as substrate components for the production of *Ilex paraguariensis* seedlings. **Comunicata Scientiae**, v. 11, p. e3215–e3215, 2020.

GAIAD, S.; RAKOCEVIC, M.; REISSMANN, C. B. Sulfato de amônio como fonte de nitrogênio na adubação de mudas de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). Em: **In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DA ERVA-MATE, EPAGRI**. Chapecó p. 5–16, 2004.

GALARÇA, S. P. et al. Correlação de pearson e análise de trilha identificando variáveis para caracterizar porta-enxerto de *Pyrus communis* L. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 4, p. 860–869, 2010.

GOMES, S. H. M. et al. Avaliação dos parâmetros morfológicos da qualidade de mudas de *Paubrasilia echinata* (pau-brasil) em viveiro florestal. **Scientia Plena**, v. 15, n. 1, 2019.

GREIPSSON, S.; CROWDER, A. A. Amelioration of copper and nickel toxicity by iron plaque on roots of rice (*Oryza sativa*). **Canadian Journal of Botany**, v. 70, n. 4, p. 824–830, 1 abr. 1992.

GREWAL, S.; GOEL, S.; ARYA, A. Impact, and current perspectives of NPs on soil nutrients. **The Impact of Nanoparticles on Agriculture and Soil**, p. 129–138, 2023.

GULERIA, G. et al. Nanotechnology for sustainable agro-food systems: The need and role of nanoparticles in protecting plants and improving crop productivity. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 194, p. 533–549, 2023.

HAISSIG, B. E. Metabolic processes in adventitious rooting of cuttings. **New Root Formation in Plants and Cuttings**, p. 141–189, 1986.

IBGE. **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura**. 2022.

IBRAMATE. **Estudo de mercado IBRAMATE**. 2021.

IJAZ, M. et al. Nanobiotechnology to advance stress resilience in plants: Current opportunities and challenges. **Materials Today Bio**, v. 22, 2023.

ILLENSEER, R.; PAULILO, M. T. S. Crescimento e eficiência na utilização de nutrientes em plantas jovens de *Euterpe edulis* mart. sob dois níveis de irradiância, nitrogênio e fósforo. **Acta Botanica Brasilica**, v. 16, n. 4, p. 385–394, 2002.

JASP TEAM. **JASP Team**. 2023.

JUCOSKI, G. D. O. et al. Excesso de ferro sobre o crescimento e a composição mineral em *Eugenia uniflora* L. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 4, p. 720-728, 2016.

LE, T. T. H. et al. Novel Integrated Nanofertilizers for Improving the Growth of *Polyscias fruticosa* and *Asparagus officinalis*. **Journal of Nanomaterials**, v. 2022, 2022.

LELAND WILKINSON; MICHAEL FRIENDLY. The history of the cluster heat map. **The American Statistician**, v. 63, n. 2, p. 179–184, 2009.

LIMA, V. T.; SANTOS, C. L. R. DOS. Influência de diferentes doses de nitrogênio na presença e ausência da adubação potássica no cultivo de milho. **Revista Eletrônica Interdisciplinar**, v. 14, n. 2, 2022.

LIU, J. et al. Bio-based elastic polyurethane for controlled-release urea fertilizer: Fabrication, properties, swelling and nitrogen release characteristics. **Journal of Cleaner Production**, v. 209, p. 528–537, 2019.

LOBO, T. F. et al. Desenvolvimento e nutrição do girassol com lodo de esgoto e nitrogênio. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 12, n. 1, p. 173–193, 2019.

MAHAWAR, L. et al. Silicon nanoparticles: Comprehensive review on biogenic synthesis and applications in agriculture. **Environmental Research**, v. 232, 2023.

MAJARON, V. F. et al. Synergy between castor oil polyurethane/starch polymer coating and local acidification by *A. niger* for increasing the efficiency of nitrogen fertilization using urea granules. **Industrial Crops and Products**, v. 154, p. 112717, 2020.

MAZUCHOWSKI, J. Z. **Influência de níveis de sombreamento e de nitrogênio na produção de massa foliar da erva-mate *Ilex paraguariensis* St. Hil.** Dissertação—Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2004.

MENEGATTI, R. D. et al. Formação de mudas de guatambu em substrato com hidrogel e fertilizante de liberação controlada, **Espacios**, v. 38, 2017.

MERELES, F. et al. Phytosociological studies in the Great Chaco: Structure, floristic composition and variability of the *Schinopsis balansae* forest in the humid boreal Chaco, Paraguay. **Bonplandia**, v. 29, n. 1, p. 39–55, 2020.

NOVAIS, R. F. DE et al. **Fertilidade do Solo**. 1. ed. Viçosa: 2007.

PAGLIOSA, C. M. et al. Characterization of the bark from residues from mate tree harvesting (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). **Industrial Crops and Products**, v. 32, n. 3, p. 428–433, 2010.

PAIVA, D. I. et al. Unraveling the genetic complexity of a cultivated breeding population of “yerba mate” (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 92, n. 1, p. 20190113, 2020.

PANDOLFO, C. M. et al. Resposta da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) à adubação mineral e orgânica em um latossolo vermelho aluminoférrico. **Ciência Florestal**, v. 13, n. 2, p. 37–45, 2003.

PINTRO, J. C.; MATUMOTO-PINTRO, P. T.; SCHWAN-ESTRADA, K. R. F. Crescimento e desenvolvimento de mudas de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) cultivadas em solo sob diferentes níveis de fertilidade. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 20, n. 0, p. 285–289, 1998.

RADOMSKI, M. I. et al. avaliação dos teores de macro e micronutrientes em folhas jovens e velhas de erva-mate nativa. **Revista do Instituto Florestal**, v. 4, n. 2, p. 453–456, 1992.

RENNEBERG, R.; BERKLING, V.; LOROCH, V. Green Biotechnology. **Biotechnology for Beginners**, p. 233–279, 2017.

ROQUE DALLABRIDA, V. et al. Com erva-mate não se faz só chimarrão! Situação atual e perspectivas de inovação no setor ervateiro do Planalto Norte Catarinense. **DRd - Desenvolvimento Regional em debate**, v. 6, n. 2, p. 247–273, 2016.

ROSOLEM, C. A.; BASTOS, G. B. Indução de deficiências nutricionais em mudas de mogno africano (*Khaya ivorensis* A. Chev.). **Bragantia**, v. 56, n. 2, p. 377–387, 2013.

SANTIN, D. et al. Crescimento e nutrição de erva-mate influenciados pela adubação nitrogenada, fosfatada e potássica. **Ciência Florestal**, n. 2, p. 363–375, 2013.

SANTIN, D. et al. Adubação nitrogenada e intervalos de colheita na produtividade e nutrição da erva-mate e em frações de carbono e nitrogênio do solo. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 3, p. 1199–1214, 2019.

SHEORAN, P. et al. Enhancement of growth and yield, leaching reduction in *Triticum aestivum* using biogenic synthesized zinc oxide nanofertilizer. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 32, p. 101938, 2021.

SILVA, A. A. DA; DELATORRE, C. A. Alterações na arquitetura de raiz em resposta à disponibilidade de fósforo e nitrogênio. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 8, n. 2, p. 152–163, 2009.

SIM, D. H. H. et al. Synthesis of tapioca starch/palm oil encapsulated urea-impregnated biochar derived from peppercorn waste as a sustainable controlled-release fertilizer. **Waste Management**, v. 173, p. 51–61, 2024.

SIQUEIRA-SILVA, A. I. et al. Iron plaque formation and morphoanatomy of roots from species of restinga subjected to excess iron. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 78, p. 265–275, 2012.

SOARES, M. T. S. et al. Sobrevivência Inicial de Erva-Mate sob Adubação Nitrogenada no Extremo Sul do Paraná. Em: SOCIEDADE BRASILEIRA DA CIÊNCIA DO SOLO (Ed.). **XIII Reunião Sul Brasileira de Ciência do Solo**. Porto Alegre: p. 465–469, 2020.

SOARES, P. P. DE S. et al. Crescimento, qualidade de raízes e atividade da redutase do nitrato em plantas de rabanete submetidas a doses de potássio e fontes de nitrogênio. **Scientia Plena**, v. 16, n. 6, 2020.

SOMAVILLA, A. et al. Avaliações morfológicas de mudas de Cedro australiano submetidas a diferentes doses do fertilizante osmocote plus®. **Comunicata Scientiae**, v. 5, n. 4, p. 493–498, 2014.

VANTI, G.; BELUR, S.; HUSEN, A. Use of nanomaterials in agricultural sectors. **Advances in Smart Nanomaterials and their Applications**, p. 445–467, 2023.

VENKATACHALAM, P. et al. Enhanced plant growth promoting role of phycomolecules coated zinc oxide nanoparticles with P supplementation in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 110, p. 118–127, 2017.

WENDLING, I. et al. **Manual de produção de mudas clonais de erva-mate**. Colombo: Colombo: Embrapa Florestas, 2020.

YANG, L. et al. Study on the Regulation of Exogenous Hormones on the Absorption of Elements and the Accumulation of Secondary Metabolites in the Medicinal Plant *Artemisia argyi* Leaves. **Metabolites**, v. 12, n. 10, p. 984, 2022.

ZAVISTANOVICZ, T. C. et al. Morphophysiological responses of *Ilex paraguariensis* seedlings to different substrates and fertilizations. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.** n. 2, p. 111–115, 2017.

CAPÍTULO 4

PADRÕES DE QUALIDADE DE MUDAS DE *ALIBERTIA EDULIS* A. RICH. EX DC. APLICAÇÃO DE NANOPARTÍCULAS DE CARBONO ORGÂNICO (C ORG) E NITROGÊNIO (N) EM ADUBAÇÃO DE COBERTURA EM VIVEIRO

1. INTRODUÇÃO

Espécies florestais nativas proporcionam diversos benefícios, ambientais, entre eles a atenuação do calor, sombra, produção de madeira, frutos, castanhas, borracha, resina e óleos entre outros possuindo paisagístico. Deste modo, e devido à alta diversidade de espécies que compõem os ecossistemas florestais nativos, ainda são insuficientes os conhecimentos sobre as necessidades nutricionais das espécies nativas (Lima; Araújo; Amaro, 2020; Oliet *et al.*, 2005a; Rabelo *et al.*, 2019).

Sabe-se que adubação em viveiro é uma das práticas culturais mais importantes para a qualidade das plantas em reflorestamentos, principalmente para mudas produzidas em recipientes nos quais o volume limitado dificulta seriamente o crescimento (Landis, 1989). Ademais, a fertilização é fator determinante para crescimento da parte aérea, das raízes, aumento da resistência ao estresse hídrico, baixas temperaturas, doenças entre outras.

Essas propriedades são de vital importância para o sucesso do estabelecimento precoce em condições desfavoráveis (Puttonen, 1997) e podem ser substancialmente influenciadas por regimes alternativos de fertilização. Além disso, a remobilização das reservas internas de nutrientes permite que mudas plantadas sejam parcialmente independentes da disponibilidade externa de nutrientes (Cherbuy *et al.*, 2001; Oliet *et al.*, 2005b).

Algumas espécies nativas possuem grande sensibilidade a aplicação de fertilizantes, como é o caso de *Handroanthus chrysotrichus* (Ipê amarelo), *Jacaranda brasiliana* (jacarandá-boca-de-sapo), *Astronium fraxinifolium* (Gonçalo-Alves) e *Alibertia edulis* (Rich.) A. Rich. ex DC, conhecida

popularmente como marmelada de cavalo, que por muitas vezes não aceitam determinada dose ou até mesmo diferente formulação de nutrientes.

Muito utilizada em distintas áreas, a espécie *Alibertia edulis* (Rich.) A. Rich. ex DC., família Rubiaceae é uma árvore de pequeno porte, podendo ter de 3 até 8 metros de altura. A espécie é possui grande apelo em reflorestamentos, recuperação de áreas degradadas entre outras (ALMEIDA et al., 1998; DA SILVA et al., 2008; LIZAMA ALLENDE; FLETCHER; SUN, 2012; MIRANDA et al., 2011).

Assim como todas as plantas, espécies nativas mesmo que sensíveis a adubação, necessitam de nutrientes essenciais na faixa ideal para completar seu ciclo de crescimento, tais nutrientes são fornecidos através de inúmeras formas como chuva, intemperismo dos minerais do solo, irrigação, decomposição da matéria orgânica, e fertilização (AKCURA et al., 2019).

Sabe-se que os fertilizantes químicos estão entre os agroquímicos indispensáveis para obter a produtividade ideal das culturas nos atuais sistemas de produção. Entretanto, cabe destacar que o uso indiscriminado dessas substâncias tem gerado graves danos ambientais (Seleiman et al., 2022).

Além disso, a eficiência da absorção e utilização de nutrientes pelas plantas também é afetada pela aplicação de doses excessivamente altas de fertilizantes químicos, citando como exemplo a eficiência de absorção de carbono, nitrogênio, fósforo, enxofre e potássio que pode ser reduzida em até 40% no caso de fertilizantes químicos (AIN et al., 2023; CHEN; MAGEN; CLAPP, 2004; DANIELS, 2010; GUO et al., 2018; JOSEPH et al., 2013; YAMATO et al., 2006; YANAI; TOYOTA; OKAZAKI, 2007).

A taxa de liberação acentuada dos nutrientes de fertilizantes convencionais tem como consequência a lixiviação, que é um dos responsáveis por causar drásticas reduções na capacidade de absorção e utilização de nutrientes pelas plantas ou até mesmo tornando-se indisponíveis para a planta devido à disponibilidade excessiva e de forma muito rápida dificultando a absorção pelas raízes e até mesmo causando efeitos tóxicos na planta (SELEIMAN et al., 2020; ZULFIQAR et al., 2019).

Portanto, para enfrentar tais desafios, a liberação controlada dos nutrientes através dos nanofertilizantes pode ser uma estratégia eficaz, uma

vez que, estudos mostram eficiência dos mesmos na aplicação nas mais diversas culturas, onde através da melhoria na disponibilidade de nutrientes, os valores de produção e crescimento são significativos quando comparados com fertilizantes convencionais como é o caso da espécie *Polyscias fruticosa* (árvore da felicidade), onde uso de nanofertilizantes resultou no aumento da matéria seca 126,5 g por planta, enquanto o controle (N-P-K convencional) foi de 88,57 g por planta (LE et al., 2022).

O número de raízes por planta também aumentou significativamente, com 21,4 com peso total média de 23,5 g, sendo cerca de 50% maior em comparação com o tratamento controle (LE et al., 2022). Alguns outros estudos também evidenciaram a superioridade dos nanofertilizantes, onde destacam o aumento da produtividade com é o caso da produtividade de tomate, em que Ajirloo; Shaaban; Motlagh (2015) verificaram um aumento no número, diâmetro e peso dos frutos por planta, peso do fruto, diâmetro do fruto.

Em cultivar de beterraba, Jakiene et al. (2015), aplicando diferentes doses de nanobiofertilizante à base de esterco bovino, observaram que todos os tratamentos melhoraram a fotossíntese e a produtividade quando comparados ao controle (nitrogênio na forma convencional), sendo que os resultados para a dose de 1 L/ha, aumentou o número de folhas em 19,6%, área foliar em 13,4%, diâmetro da raiz em 11,1%, massa seca da copa em 29,1%, biomassa da raiz em 42,6%, produtividade fotossintética líquida em 15,8%, rendimento de raízes em 12,6%, entre outros fatores.

Diversos outros estudos, com diferentes espécies como moringa, feijão vermelho, feijão fava, batata, espinafre, tamareira, videira, macieira, romã, manga, oliveira, manjericão, açafrao, hortelã, morango, cominho e camomila com diferentes tipos e formas de aplicação de nanofertilizantes, onde são observados resultados favoráveis quanto ao aumento da produção, incremento na altura e diâmetro, melhoria das raízes e folhas entre outras (Avestan; Naseri; Najafzadeh, 2018; Badran; Savin, 2018; Davarpanah et al., 2016b, 2017; Ekinci et al., 2014; El-Bialy et al., 2023; Hagagg et al., 2018; Hagagg; El-Hady, 2018; Hayyawawi; Qusay, 2019; Jubeir; Ahmed, 2019; Márquez-Prieto et al., 2022; Moghadam et al., 2012; Mohasedat et al., 2018; Mohd Nor; Zamri; Khalisanni, 2018; Roshdy; Refaai, 2016; Yaseen; Kadim, 2018; Zagzog; Gad, 2017).

Ademais, visando carências na etapa de estudos sobre a nutrição de mudas de espécies nativas especialmente Cerrado, o estudo tem como objetivo testar a aplicação de nanofertilizante à base de Carbono Orgânico (C org) e Nitrogênio e fertilizante convencional (ureia) na resposta dos padrões morfológicos e das características nutricionais em mudas de *Alibertia edulis* em viveiro, bem como a lixiviação de N.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local de implantação e condução do experimento

O experimento foi realizado no viveiro florestal Paisagem Nativa, localizado na cidade de Planaltina, Distrito Federal, rodovia DF 230, Km 4,5, coordenadas 16°12'31" S e 48°44'26" W. O clima, segundo Köppen e Geiger é classificado como Aw. caracterizado por duas nítidas estações: uma seca durante o inverno e outra chuvosa no verão. A temperatura média é de 21.7 °C e a pluviosidade média anual é 1443 mm (CARDOSO; MARCUZZO; BARROS, 2014).

2.2 Mudas, recipientes e substrato

As mudas cedidas pelo viveiro foram selecionadas de forma aleatória, produzidas via semente, com cerca de 2 meses de idade no início do experimento. Os recipientes utilizados foram tubetes cônicos de 290 cm³

O substrato utilizado pelo viveiro para o preenchimento dos vasos marca Rohrbacher Florestal[®], é composto por casca de pinus compostada e vermiculita, aditivado com 0,2% de calcário e 0,1% de superfosfato triplo. Possui densidade de 260 Kg/m³, pH de 6, condutividade elétrica de 1,0 ms/cm e uma capacidade de retenção de água de até 60%.

2.3 Instalação do experimento

O experimento foi instalado e conduzido em local com sombreamento parcial (sombrite à 25%), e irrigação via aspersão controlada com lâmina d'água de 12mm dia, distribuída em quatro períodos. O delineamento foi o inteiramente casualizado (DIC), com nove tratamentos (doses de nanofertilizante e ureia) composto por 12 mudas cada. Os tratamentos foram a testemunha com 0 ml (T0), quatro doses nanofertilizante (diluído à 10%): 2, 4, 6

e 8 ml denominados T1, T2, T3 e T4 respectivamente, e 30 ml de ureia diluída na proporção de 2, 4, 6 e 8 g por litro de água, denominados: T5, T6, T7 e T8 respectivamente, por muda. A aplicação foi realizada através de pipeta dosadora diretamente no recipiente de maneira individual, a cada sete dias, durante o período de 4 meses.

2.3.1 Avaliação das características morfológicas

Para avaliação das características morfológicas foram utilizados métodos descritos por Böhm (1979), onde serão descritos a altura da parte aérea (H), em centímetros, obtida com auxílio de régua graduada; o diâmetro do coleto (D), em milímetros, obtido com auxílio de paquímetro digital; o número total de folhas (NF), obtido através da contagem simples; a massa seca da parte aérea (MSA), em gramas, a massa seca das raízes (MSR) em gramas, e a massa seca total (MST) em gramas. Ambas foram obtidas através da secagem do material em estufa com temperatura variando entre 65°C e 75°C até atingirem peso constante, e posterior pesagem em balança analítica de precisão (0,001 g).

De maneira complementar, foi realizado a contagem simples das raízes (NR) e medido o diâmetro médio das raízes (DMR). A fim de expressar o equilíbrio do crescimento das mudas de *Ilex paraguariensis*, através da ponderação da massa seca total, relação da altura e diâmetro e a relação da massa seca da parte aérea com as raízes foi realizado o Índice de Qualidade de Dickson, obtido através da equação 1 (Dickson; Leaf; Hosner, 1960).

$$IQD = MST / \left[\frac{H}{D} + \frac{MSA}{MSR} \right] \quad \text{Equação 1.}$$

2.4.2 Teores de macro e micronutrientes foliares

A avaliação dos teores de macro e micronutrientes foi realizada de maneira composta, de forma que o material da parte aérea das mudas (brotos e folhas) foram destacados das raízes e homogeneizados de acordo com a adubação utilizada, ou seja, nenhuma adubação, nanofertilizante e ureia, e em seguida colocados em sacos de papel e acondicionados em estufa, com

temperatura variando entre 65°C e 75°C até atingirem peso constante. Após, a massa seca foi moída em moinho tipo Willey, e determinados os teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S) e micronutrientes (Fe, Zn, Mn, Cu e B), seguindo a metodologia descrita por Bataglia et al. (1983).

2.4.3 Lixiviação de nutrientes

Para determinação da lixiviação de nutrientes, aos 120 dias, foram coletadas amostras de água lixiviada de 10 mudas por tratamento, durante 3 dias após a aplicação da adubação. As amostras foram homogeneizadas, de acordo com o nutriente utilizado, ou seja, nenhuma adubação, nanofertilizante e ureia e levadas ao laboratório para a determinação do pH. Também foram determinadas a concentração de carbono orgânico seguindo metodologia descrita por Allison (1960), e a de nitrogênio pela metodologia descrita em APHA – American public health association (1995).

2.5 Análise estatística

Os dados preliminares foram submetidos a diferentes análises, incluindo a descritiva (média e desvio padrão), seguida dos testes de normalidade (Shapiro-Wilk), e homogeneidade (Bartlett). Depois de verificada a homogeneidade e normalidade dos dados, as variáveis morfológicas e nutricionais das mudas foram submetidas à análise de variância da regressão polinomial ($\alpha=0,05$), utilizando-se as médias de cada tratamento. A equação de regressão selecionada foi correspondente à regressão significativa de mais alto grau ($p<0,05$). Caso constatada a significância entre as interações dos fatores testados, as médias foram submetidas ao teste de Scott & Knott.

De forma complementar, as doses de nanofertilizante e ureia foram agrupadas, por meio da análise de variáveis canônicas. Essa análise é um procedimento estatístico multivariado, que avalia o grau de similaridade entre elementos amostrais (doses de nanofertilizante e ureia), levando em consideração a matriz de covariância residual, ou seja, a variação entre as repetições, além da média das variáveis.

O objetivo principal dessa análise foi simplificar a estrutura dos dados, de forma que a dispersão entre os tratamentos representados por um conjunto p-dimensional (onde p representa o número de variáveis avaliadas), possa ser avaliada por um conjunto bidimensional de fácil interpretação, permitindo o agrupamento entre os tratamentos (CRUZ; REGAZZI, 1994; TRUGILHO, 1995). Essa análise foi realizada para as variáveis morfológicas em relação ao nanofertilizante e ureia.

De maneira complementar, as doses de nanofertilizante e ureia, foram correlacionados com as médias das variáveis morfológicas, nutricionais e lixiviação através correlação de Pearson $|r_{ij}|$ através de Heatmap's (mapas de calor,) representada pela densidade geográfica de pontos onde cada cor da célula corresponde ao valor de correlação de duas determinadas variáveis, sendo que cores azuis representam correlação positiva, enquanto cores vermelhas representam correlação negativa. Quanto mais escuro o vermelho, mais próximo do valor -1, e quanto mais escuro o azul, mais próximo do valor 1 (Deng *et al.*, 2014; Leland Wilkinson; Michael Friendly, 2009). A correlação foi realizada para as variáveis morfológicas em relação ao nanofertilizante e ureia.

Os procedimentos estatísticos foram realizados com auxílio dos softwares SISVAR Statistical Software v. 5.6 (Ferreira, 2014), Rbio (Bhering, 2017), Microsoft Excel® e JASP V. 0.18.1 (JASP Team, 2023).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise de variância (Figura 21), para os tratamentos com nanofertilizante, mostraram a ocorrência de diferença estatística nas variáveis: altura; diâmetro de coleto; número de folhas; no comprimento e diâmetro médio das raízes; nas massas secas da parte aérea, raiz e total e no índice de qualidade de Dickson (IQD). Nas que apresentaram significância, com exceção do número de folhas, o tratamento sem aplicação de nanofertilizante apresentou os menores valores médios.

De acordo com a análise de regressão: altura, diâmetro, massa seca da parte aérea, diâmetro médio das raízes, comprimento médio das raízes, massa seca total e índice de qualidade de Dickson apresentaram comportamento linear positivo, indicando que ao aumentar a dose de nanofertilizante aplica há um aumento também nos parâmetros observados. Para o número de folhas e a massa seca das raízes o comportamento foi quadrático positivo.

Altura das mudas apresentou uma variação média de 14,9 cm entre os tratamentos com aplicação de nanofertilizante, em relação à testemunha, sendo a aplicação de 4 ml/muda o tratamento de maior valor médio. O incremento na altura das mudas foi de 65,7% em relação às mudas sem a aplicação do nanofertilizante. O diâmetro de coleto apresentou uma variação média entre os tratamentos de 4,25 mm, 60,5% a mais, quando comparados os tratamentos com aplicação de nanofertilizante em relação ao sem aplicação (T0), com destaque para aplicação de 8 ml/muda, o melhor tratamento com 7,0 mm.

As variáveis do sistema radicular, número de raízes, diâmetro médio das raízes e comprimento médio das raízes tiveram um incremento de 17, 47 e 34% respectivamente em relação ao tratamento T0. Já para as massas secas da parte aérea, raiz e total, a variação em relação à testemunha foi de: 3,1; 3,9 e 6,6 g respectivamente, apresentando um incremento, nesta mesma ordem, de: 77,2; 80,3 e 78,2%.

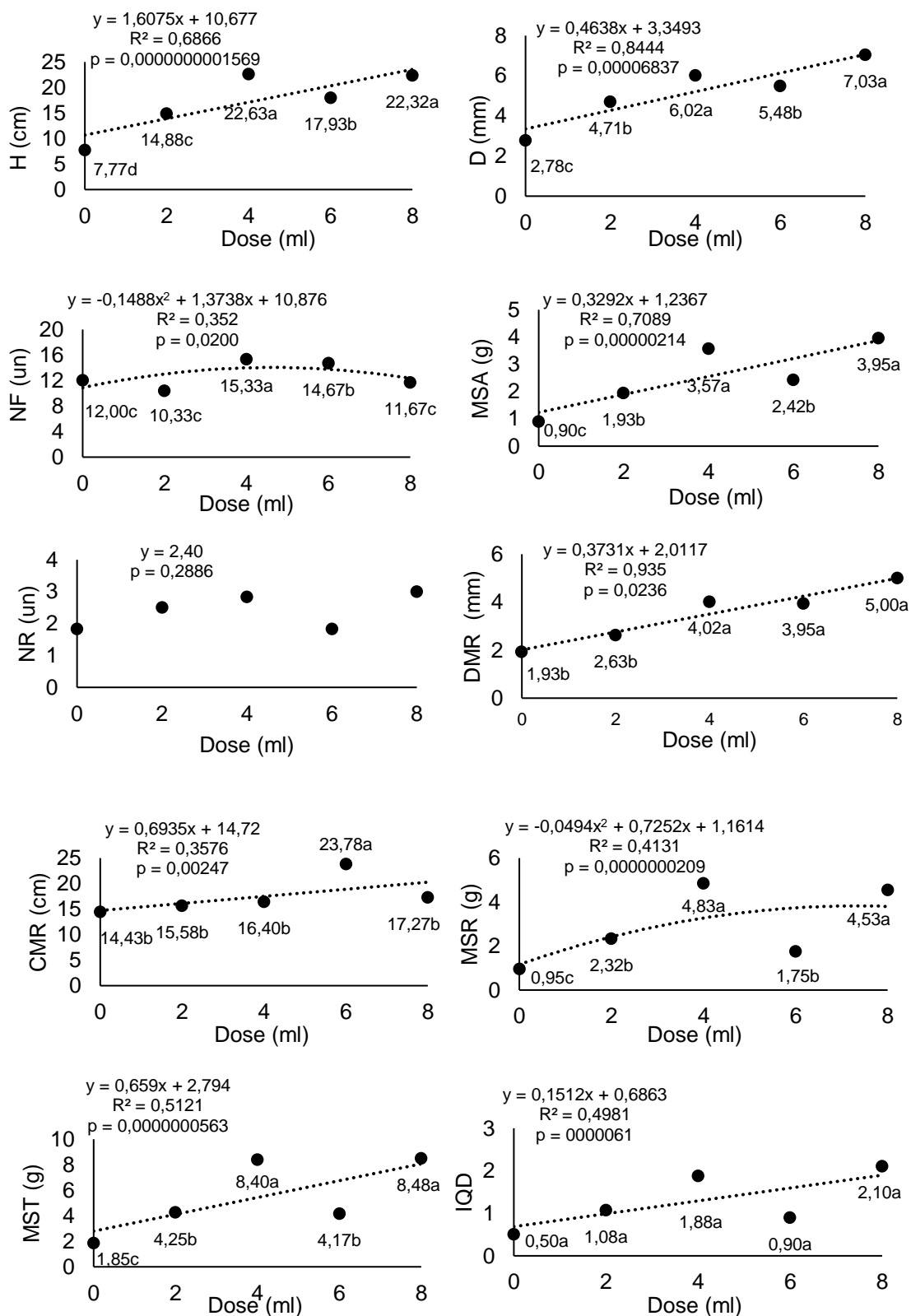


Figura 21. Comportamento das variáveis morfológicas de mudas de *Alibertia edulis* às diferentes doses de nanofertilizante. H = altura da parte aérea; D = diâmetro do coleto; NF = número de folhas; MSA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca das raízes; NR = número de raízes; CMR = comprimento médio das raízes; DMR = diâmetro médio das raízes; MST = massa seca total; IQD = Índice de qualidade de Dickson. R^2 = coeficiente de determinação. p = p-valor da anova. Médias seguidas pela mesma letra não se diferenciam pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

As variáveis que apresentaram maior influência pela adubação de cobertura com o nanofertilizante foram para as massas secas. A altura e o diâmetro do coleto são os parâmetros morfológicos mais utilizados para avaliação da qualidade de mudas florestais, sendo considerados indicadores de qualidade de mudas, no entanto devem ser analisados conjuntamente (Binotto; Dal' Col Lúcio; Lopes, 2010; de Melo *et al.*, 2018).

De maneira geral, a altura inicial das mudas está mais correlacionada ao crescimento inicial em campo, do que com a sobrevivência após o plantio. Já o diâmetro do coleto, em geral é o principal indicador de sobrevivência após o plantio e é considerado um dos parâmetros que melhor reflete a qualidade de mudas florestais (de Melo *et al.*, 2018; Zahawi *et al.*, 2015). Para essas variáveis, constatou-se que *Alibertia edulis*, apresentou maiores valores de diâmetro do coleto nos tratamentos onde obteve maior altura, e vice-versa.

O valor médio (19,4 cm), encontrado na altura das mudas de *Alibertia edulis*, com aplicação de nanofertilizante fica acima de valores encontrados por outros autores ao estudar a aplicação de nitrogênio, de maneira convencional, em adubação de cobertura em espécies nativas brasileiras. Citam-se como exemplos as espécies: *Handroanthus ochraceus*, com altura média de 13 cm (Mews *et al.*, 2015), 13,71 cm em *Peltophorum dubium* (de Souza *et al.*, 2013), 11,91 cm em *Citharexylum myrianthum* (Fernandes *et al.*, 2019b).

Para a variável diâmetro do coleto, o valor médio dos tratamentos com nanofertilizante foi de 5,81 (mm) e ao confrontar com estudos onde houve aplicação de doses similares de N, porém de forma convencional, como: *Citharexylum myrianthum* com 4,81mm (Fernandes *et al.*, 2019b) e *Swietenia macrophylla*, com 2,70mm (Augusto *et al.*, 2023) verificamos a superioridade do nanofertilizante também nesse parâmetro.

Para as variáveis da massa seca da parte aérea, raízes e total as melhores médias obtidas nos tratamentos com aplicação de nanofertilizante foram de 3,95; 4,83 e 8,48 g respectivamente. Tais valores, ao colacionar, com espécies nativas como: *Swietenia macrophylla* com 3,83 g para parte aérea, 1,12 g para massa seca das raízes e 4,95 g para total (Augusto *et al.*, 2023), e 3,63 g para massa seca das raízes também em *Swietenia macrophylla* (TUCCI; LIMA; LESSA, 2009).

O maior número de folhas foi obtido na dose de 4ml de nanofertilizante (15 unidades), ficando próximo de valores obtidos em espécies nativas como: *Handroanthus ochraceus* com 13 unidades (Mews *et al.*, 2015), e acima de espécies como: *Swietenia macrophylla*, *Handroanthus heptaphyllus* e *Enterolobium contortisiliquum* com 4,5; 9,5 e 4,5 unidades respectivamente (AZEVEDO, 2018).

Nos tratamentos onde houve aplicação de ureia foi constatado através de análise de variância que as doses de ureia aplicadas foram significativas para as variáveis H (altura da planta) e NF (número de folhas). A altura apresentou comportamento linear positivo, enquanto o número de folhas apresentou comportamento quadrático negativo. As demais variáveis apresentaram p-valor maior que 5% de significância (Figura 22).

Para mudas produzidas em tubetes, o sistema radicular é muito importante (Gomes *et al.*, 2019; Mereles *et al.*, 2020), sendo que em mudas com bom desenvolvimento do sistema radicular, há o acesso a uma reserva maior de nutrientes e água, e as mesmas podem se estabelecer precocemente no campo, resultando em sobrevivência, crescimento e competitividade superiores em relação às mudas produzidas convencionalmente (Timmer; Munson, 2011), como por exemplo a utilização de adubação nitrogenada através da ureia.

Ao analisar os dados do sistema radicular número, diâmetro e comprimento médios, os resultados obtidos com nanofertilizante mostram um incremento de 39, 36 e 24% respectivamente, em relação aos tratamentos com aplicação de nitrogênio convencional (ureia). A massa seca das raízes também apresentou melhor resultado no tratamento com aplicação de nanofertilizante, expressando incremento ainda maior, 70%, em relação aos tratamentos com aplicação de ureia.

Em relação as melhores médias obtidas nos tratamentos onde houve aplicação da adubação de forma convencional, a altura, ficou com 12,5 cm para o tratamento T8 com 8g/L⁻¹, corroborando com resultados encontrados por De Souza *et al.* (2013), que ao estudarem o crescimento e qualidade de mudas de Canafístula (*Peltophorum dubium*) encontraram 13,7 cm.

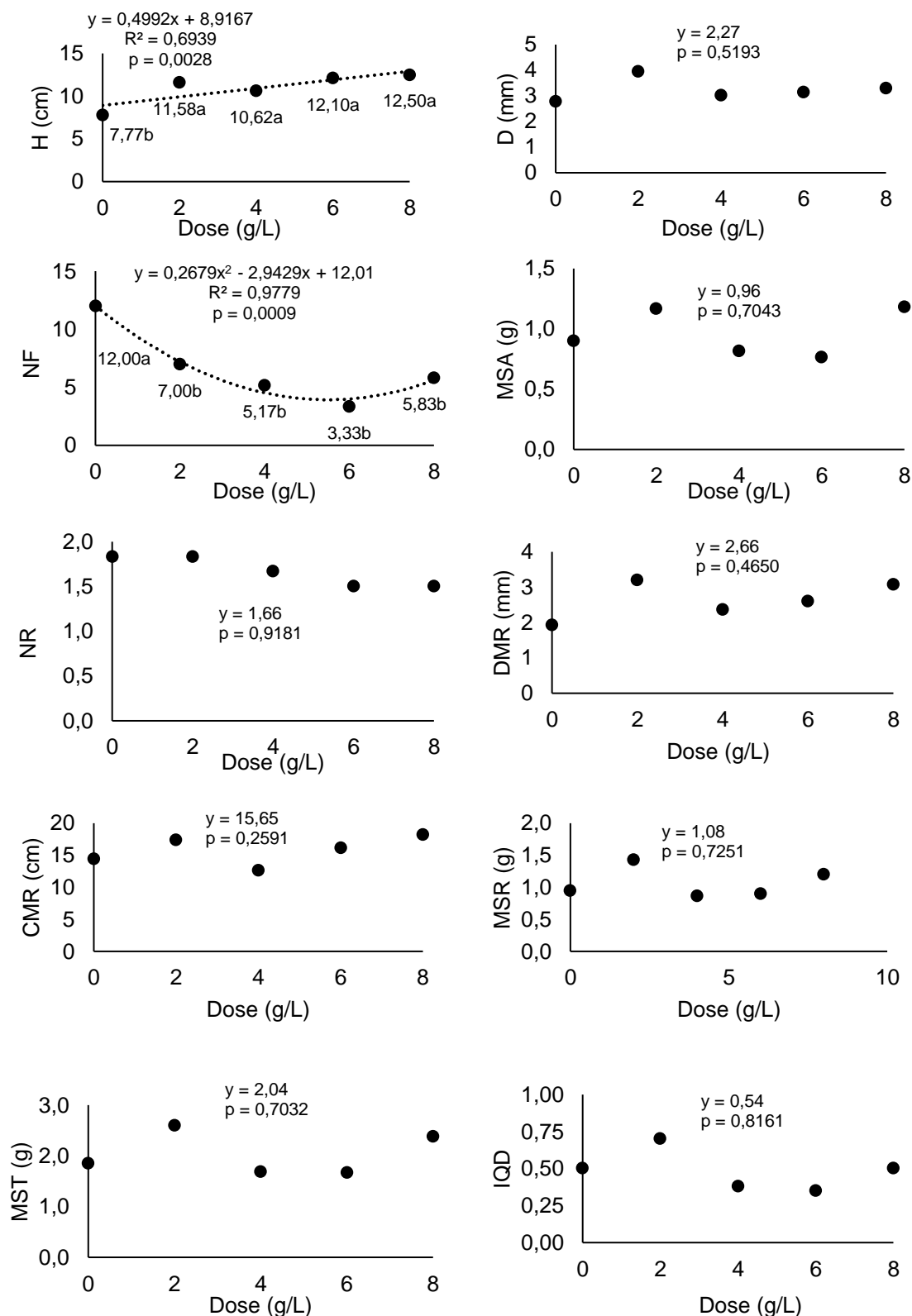


Figura 22. Comportamento das variáveis morfológicas de mudas de *Alibertia edulis* às diferentes doses de ureia. H = altura da parte aérea; D = diâmetro do coleto; NF = número de folhas; MSA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca das raízes; NR = número de raízes; CMR = comprimento médio das raízes; DMR = diâmetro médio das raízes; MST = massa seca total; IQD = Índice de qualidade de Dickson. R^2 = coeficiente de determinação. p = p-valor da anova. Médias seguidas pela mesma letra não se diferenciam pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Para o número de folhas, nos tratamentos com ureia, foi verificado um decréscimo ao passo em que as doses aumentavam, destoando dos resultados encontrados nos tratamentos com nanofertilizante e de Santos et al. (2020), que ao estudarem o crescimento de *Alibertia edulis* à campo observaram incremento dessa característica utilizando cama de frango como fonte de N.

Por ser o nutriente mais abundante, o nitrogênio, é um dos nutrientes mais limitantes no crescimento das plantas, sendo o que mais contribui no incremento de biomassa e conseqüentemente das folhas. Sua absorção ocorre, principalmente, na forma de nitrato (NO_3^-) ou de amônio (NH_4^+), e exerce papel importante na fotossíntese, pois é uma das moléculas componentes da clorofila e de outros processos metabólicos, melhorando a nutrição e o crescimento das mudas, especialmente pelo fato de que espécies nativas apresentarem crescimento inicial lento em suma maioria (Pires De Castro Faria et al., 2020; Santos et al., 2020; Shen et al., 2022; Tarcisio; Queiroz; Costa De Oliveira, 2023).

A média obtida para diâmetro do coleto nos tratamentos com ureia (3,4 mm) ficou abaixo da obtida com nanofertilizante (5,8 mm), porém quando comparado à estudos com distintas espécies nativas como *Handroanthus ochraceus* (Mews et al., 2015), *Dalbergia miscolobium* e *Jacaranda cuspidifolia* com 2,9 e 3,3 mm respectivamente (Dutra et al., 2015), os resultados confirmam o crescimento em menor escala quando se trata em aplicação de N de forma convencional.

Para os parâmetros relacionados ao sistema radicular, verificou-se que as quatro variáveis analisadas (NR, DMR, CMR e MSR) foram superiores no tratamento com nanofertilizante em relação a ureia. Em diferentes estudos de adubação nitrogenada em espécies florestais nativas, foi verificado que as médias da MSR variam de 0,7 a 8,2 g (Costa; Almeida; Castro, 2023; Dutra et al., 2015; Mews et al., 2015), dependendo de vários fatores como idade da muda, dosagem, forma de aplicação entre outros.

O Índice de Qualidade de Dickson (IQD), amplamente utilizado quando se trata de produção de mudas em viveiro, tem como base a relação entre diversos indicadores de crescimento para determinar a qualidade das mudas (MST, MSA, MSR, H e D), de forma à evidenciar o equilíbrio entre crescimento e o potencial de sobrevivência das mudas à campo, uma vez que, ao

considerar várias características morfológicas possíveis erros que poderiam ser encontrados ao utilizar poucos indicadores são minimizados (Gasparin *et al.*, 2014; Leite *et al.*, 2017).

Com isso, verificamos que o IQD foi amplamente superior nos tratamentos onde houve aplicação de nitrogênio através do nanofertilizante, com média de 1,5 enquanto os tratamentos com aplicação de nitrogênio na forma convencional através da ureia, foi de 0,5 apresentando incremento de 66,7%. Ao comparar o IQD a estudos onde foi utilizada adubação nitrogenada convencional, verificamos que os valores ficam próximos, como é o caso de *Handroanthus ochraceus* (Mews *et al.*, 2015) e *Cedrela odorata* (Pérez-Flores *et al.*, 2023) ambos com 0,7.

Através da análise de correlação de Pearson (Figura 23), verificou-se também a ocorrência de significância ($p < 0,001 = ***$) maior que 90% entre as variáveis: MSR x MST (0,977), MSA x MST (0,960) e as massas secas da parte aérea, raízes e total versus o índice de qualidade de Dickson com 0,919; 0,947 e 0,964 respectivamente. Os menores valores de correlação foram observados para: NR x CMR (-0,401); NR x DMR (-0,226) e NF x NR (-0,186).

Ao correlacionar as características morfológicas das mudas de *Alibertia edulis* com as doses de nanofertilizante foi verificado que houve menor influência das características NF e NR e maior influência nas variáveis biométricas de H, D e de biomassa da parte aérea (MSA) e conseqüentemente maior correlação com a MST. Esses resultados são ratificados ao serem comparados com estudo conduzido por Silva *et al.* (2020), que ao testarem doses crescentes de nitrogênio na forma de ureia, em mudas de *Guazuma ulmifolia* conhecida popularmente como mutamba, encontraram forte correlação da H x Massas secas, com valores acima de 90%.

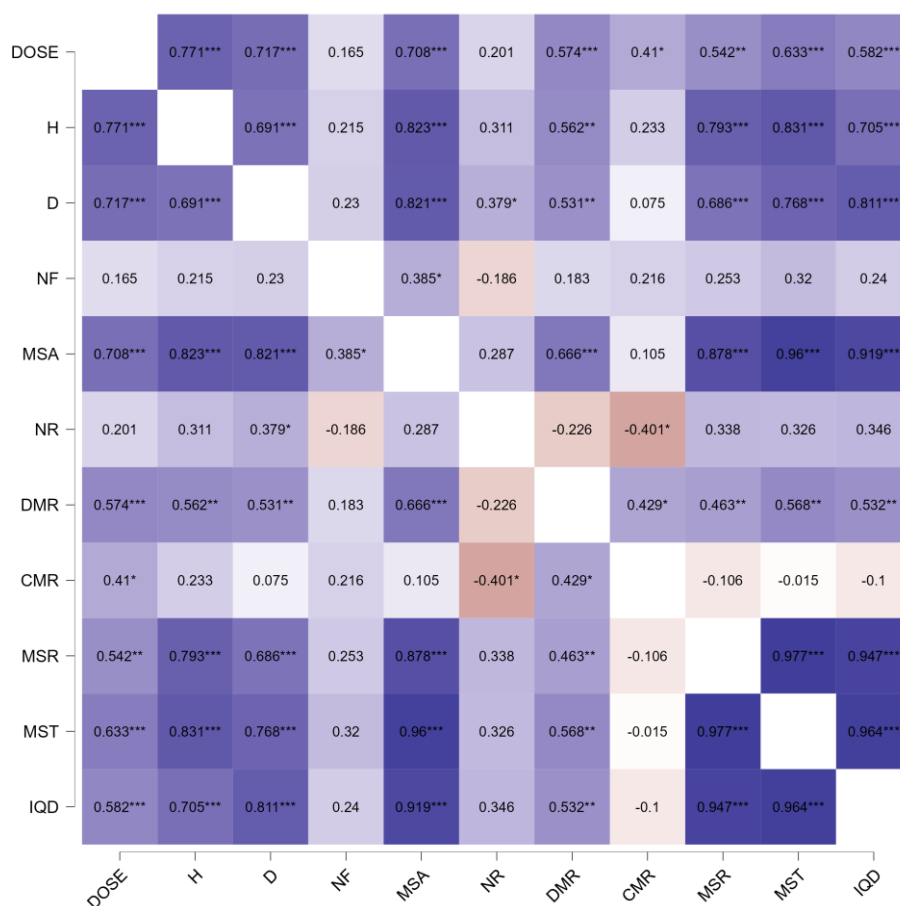


Figura 23. Representação gráfica da correlação de Pearson para variáveis morfológicas de *Alibertia edulis*, com diferentes doses de nanofertilizante em adubação de cobertura. H = altura da parte aérea; D = diâmetro do coleto; NF = número de folhas MSA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca das raízes; CMR = comprimento médio das raízes; DMR = diâmetro médio das raízes; MST = massa seca total e IQD = índice de qualidade de Dickson. Nível de significância: * = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$ e *** = $p < 0,001$.

Nos tratamentos onde houve aplicação de ureia, a análise de correlação de Pearson (Figura 24), apresentou correlações significativas $p < 0,001$ em diversas variáveis. Destaca-se a D; MSA; DMR; MSR e MST x IQD com 0,915; 0,854; 0,758; 0,979 e 0,963 respectivamente.

Ao correlacionar as variáveis Dose x H, foi verificada significância ($p < 0,01$), com 0,568. Esse resultado corrobora com estudos que enfatizam que o N é o elemento mais importante para o desenvolvimento das plantas, e auxilia de diretamente na qualidade nutricional, participando de diferentes atividades da vida vegetal como formação de clorofila e principalmente o crescimento da parte aérea e das raízes (Ding *et al.*, 2012; Huo *et al.*, 2022; McMahan *et al.*, 2022; Wang *et al.*, 2019).

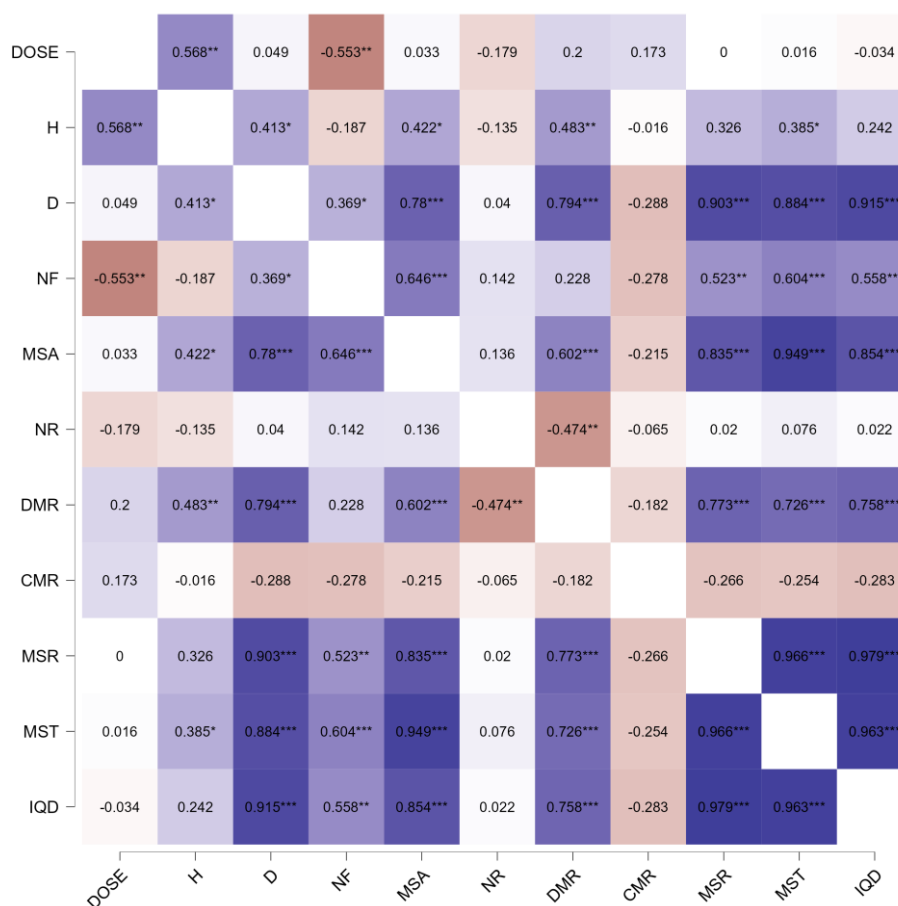


Figura 24. Representação gráfica da correlação de Pearson para variáveis morfológicas de *Alibertia edulis*, com diferentes doses de ureia em adubação de cobertura. H = altura da parte aérea; D = diâmetro do coleto; NF = número de folhas MSA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca das raízes; CMR = comprimento médio das raízes; DMR = diâmetro médio das raízes; MST = massa seca total e IQD = índice de qualidade de Dickson. Nível de significância: * = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$ e *** = $p < 0,001$.

A correlação, acima de 0,385, entre as variáveis dependentes indica que a observação de uma variável possibilitaria inferir sobre as outras. Assim, a recomendação da adubação nitrogenada através do nanofertilizante visando o aumento da qualidade das mudas, principalmente para se obter maior IQD, é justificável uma vez que esse índice se correlaciona com as características avaliadas.

A Figura 25, mostra a partir da análise canônica, que o tratamento com a aplicação de 4 ml/muda (T2), elucida os maiores valores médios nas variáveis: MAS, NR e MSR. Para as variáveis H, D, NF e DMR, o tratamento com 8ml/muda ficou com a melhores médias. Das 10 variáveis estudadas, 7 foram superiores nos tratamentos com aplicação de nanofertilizante, sendo 3 variáveis para o T2 e 4 variáveis para o T4. Esse último teve maior influência nos valores médios associados diâmetro e altura das mudas, enquanto o

tratamento T2 com menor aplicação influenciou a obtenção de maiores valores médios nas variáveis a massa seca, tanto da parte aérea, quanto do sistema radicular.

De maneira geral, maiores dosagens de N através do nanofertilizante propiciaram maiores valores médios em parte aérea. Para o sistema radicular as dosagens médias T2 e T3 demonstraram maiores valores, exceto para o DMR. O tratamento sem aplicação de adubação (T0), não teve influência sobre as variáveis associadas à parte aérea, nem nas de sistema radicular, evidenciando o quanto a adubação de cobertura com nanofertilizante proporcionou ganhos no crescimento e na qualidade das mudas de *Alibertia edulis* em viveiro.

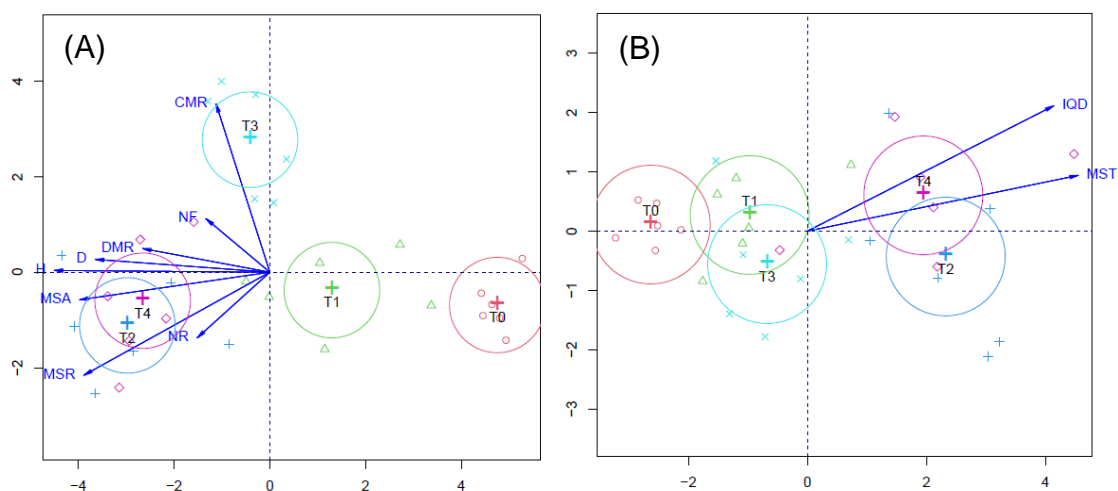


Figura 25. Representação gráfica das variáveis canônicas para variáveis morfológicas (A) e de qualidade (B) em mudas de *Alibertia edulis* com aplicação de nanofertilizante. H = altura da parte aérea; D = diâmetro do coleto; NF = número de folhas; MSA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca das raízes; CMR = comprimento médio das raízes; DMR = diâmetro médio das raízes; MST = massa seca total e IQD = índice de qualidade de Dickison.

A análise de variáveis canônicas, nos tratamentos com aplicação de ureia (Figura 26), indicou que as variáveis D, MSA, CMR e MSR foram mais influenciadas pela dose de 2g/L^{-1} (T5). O número de raízes (NR) sofreu menos influência que os demais, no entanto o T5 foi o mais influenciado a variável. O tratamento T0 influenciou a variável NF, enquanto o tratamento com maior dosagem de nitrogênio convencional (ureia), influenciou a variável altura.

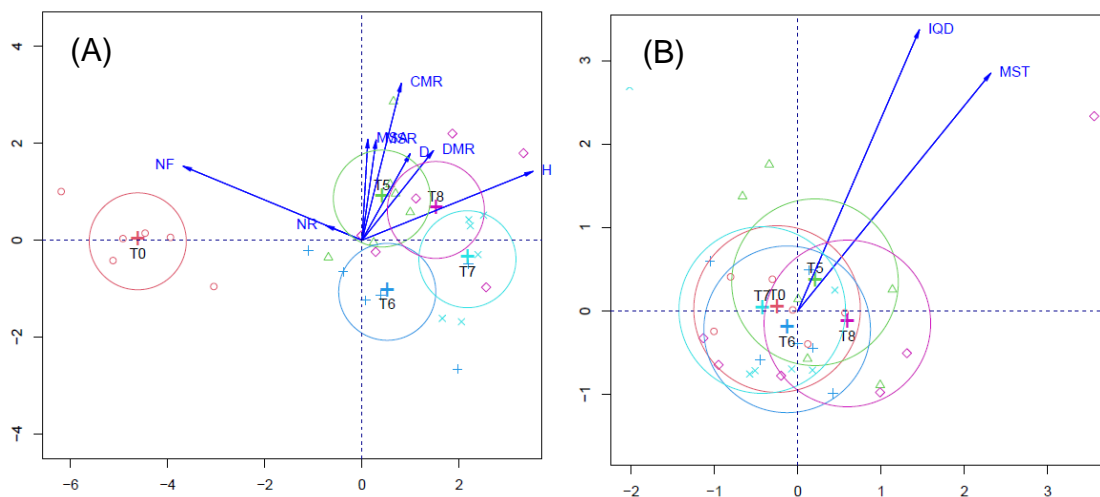


Figura 26. Representação gráfica das variáveis canônicas para variáveis morfológicas (A) e de qualidade (B) em mudas de *Alibertia edulis* com aplicação de ureia. H = altura da parte aérea; D = diâmetro do coleto; NF = número de folhas MSA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca das raízes; CMR = comprimento médio das raízes; DMR = diâmetro médio das raízes; MST = massa seca total e IQD = índice de qualidade de Dickson.

As melhores médias nos aspectos morfológicos foram obtidas nos tratamentos T4 e T5 respectivamente. Visando obter a melhor fonte de nitrogênio para mudas de *Alibertia edulis*, as duas foram comparadas entre si (Tabela 9).

Tabela 9. Médias dos melhores resultados dos tratamentos de nanofertilizante e ureia nos aspectos morfológicos de *Alibertia edulis*.

TRATAMENTO	Dose	H	D	NF	MSA	NR	DMR	CMR	MSR	MST	IQD
T4 (Nano)	8ml	22,3 _a	7,0 _a	11,7 _a	4,0 _a	3,0 _a	5,0 _a	17,3 _a	4,5 _a	8,5 _a	2,1 _a
T5 (Ureia)	2g/L ⁻¹	11,6 _b	4,0 _b	7,0 _b	1,2 _b	1,8 _a	3,2 _a	17,4 _a	1,4 _b	2,6 _b	0,7 _b

H = altura da parte aérea; D = diâmetro do coleto; NF = número de folhas MSA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca das raízes; NR = número de raízes; CMR = comprimento médio das raízes; DMR = diâmetro médio das raízes; MST = massa seca total; IQD = Índice de qualidade de Dickson. Médias seguidas pela mesma letra não se diferenciam pelo teste f anova a 5% de probabilidade.

Através da síntese das diferentes análises aplicadas nas médias obtidas nos parâmetros morfológicos de *Alibertia edulis*, constata-se que aplicação de diferentes doses de nitrogênio nas mudas proporcionou aumentos na qualidade, especialmente com a utilização do nanofertilizante arbolina. Cabe destacar que na literatura, até o presente momento, não há relatos do uso de nanofertilizantes na produção de mudas de *Alibertia edulis* em viveiro.

Ao avaliar as melhores doses de cada substância que entrega nitrogênio as plantas, se verificou que H foi significativamente superior no tratamento onde houve aplicação de 8 ml por muda de nanofertilizante (T4) em relação a aplicação convencional através de ureia com 2g/L⁻¹. De maneira geral, o

nitrogênio é essencial para o desenvolvimento das plantas e sendo empregado da maneira correta melhora os teores foliares e outros elementos, e por consequência o crescimento da parte aérea reduzindo o tempo de viveiro das mudas (Dutra *et al.*, 2017).

Ademais, a altura da parte aérea é um parâmetro bastante adequado para se avaliar o padrão de qualidade de mudas florestais, uma vez que mudas com maior altura, normalmente, apresentam maior vigor, além de ser uma variável de fácil determinação e um método não destrutivo (PASQUETTI *et al.*, 2016; GOMES *et al.*, 2002a; SOMAVILLA *et al.*, 2014).

Outro fator muito importante é o diâmetro do coleto (D), e através dos resultados pode-se constatar um acréscimo de 42,9% no tratamento T4 em comparação ao T5. Ademais, mudas com relação altura/diâmetro melhores demonstram maior equilíbrio e conseqüentemente maior vigor (Dantas *et al.*, 2018).

Para o Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), por meio da implementação da Lei de Sementes e Mudanças de Espécies Florestais (Lei 10.711, Decreto 5.153 de 2004) mudas de espécies florestais nativas ou exóticas, deverão apresentar padrão mínimo de 3 mm de diâmetro do colo (D) e 20 cm de altura (H) (MAPA, 2004). Diante desses parâmetros exigidos, se verifica que apenas as mudas onde foi aplicado 8ml de nanofertilizante estariam aptas para plantio à campo.

Para as características morfológicas relacionadas ao enraizamento foi verificado que apenas o CMR não apresentou diferença estatística significativa, o restante das variáveis obteve diferença significativa, no tratamento com adição de 8 ml de nanofertilizante por muda.

De maneira geral, o bom desenvolvimento do sistema radicular proporciona inúmeros benefícios para as mudas. Dentre eles se pode citar a melhor absorção de nutrientes e água, descomplicação para troca de recipiente e confecção de rocambole para transporte, uma vez que melhora a agregação do substrato. A quantidade de raízes é fator muito importante para mudas que estão no período de transplante para campo, uma vez que quanto maior for o sistema radicular, maiores serão chances de sobrevivência das mudas (NAVROSKI, 2013).

Em relação aos indicadores da qualidade das mudas, a MST e o IQD são bastante indicados, pois em seus cálculos são considerados a robustez e o equilíbrio na distribuição da biomassa, ponderando resultados de vários parâmetros importantes. As variáveis morfológicas e os índices utilizados para avaliação da qualidade das mudas podem ser utilizados isoladamente ou em conjunto, para classificação do padrão da qualidade de mudas, desde que sejam empregados em mudas desenvolvidas em condições de ambiente semelhantes (Lopes *et al.*, 2013).

Para a MST e o IQD, foi verificada diferença significativa, e a superioridade do tratamento com aplicação de nanofertilizante. Em estudos realizados com as espécies *Calophyllum brasiliense*, *Eriotheca macrophylla*, *Inga laurina*, *Psidium cattleyanum*, *Roupala montana* e *Sloanea obtusifolia*, Avelino *et al.* (2022), encontraram MST variando de 0,8 a 7,6 g, corroborando com resultados encontrados em para ambos os tratamentos (ureia e nanofertilizante).

Já para o IQD, é verificada uma variação de 0,12 a 1,26 para as espécies *Calophyllum brasiliense*, *Eriotheca macrophylla*, *Inga laurina*, *Psidium cattleyanum*, *Roupala montana* e *Sloanea obtusifolia* (Avelino *et al.*, 2022), e 0,19 e 0,71 para as espécies *Dalbergia miscolobium* Benth. e *Jacaranda cuspidifolia* Mart. respectivamente (Dutra *et al.*, 2017). o que demonstra a superioridade do nanofertilizante.

De maneira geral, através da síntese das diferentes análises realizadas nas nos resultados obtidos para os padrões morfológicos de *Alibertia edulis*, constata-se que aplicação de diferentes doses de nitrogênio nas mudas proporcionou aumentos na qualidade das mudas, especialmente na utilização de nanofertilizante, sendo superior em 80% das variáveis analisadas. Cabe destacar que na literatura, até o momento, não há estudos sobre o uso de nanofertilizantes na produção de mudas de *Alibertia edulis*.

Em estudos sobre as características morfológicas de Cedro australiano, Somavilla *et al.* (2014), destacam que a H é um bom parâmetro para se avaliar o padrão de qualidade de mudas florestais, uma vez que mudas com maior altura, normalmente, apresentam maior vigor, além de ser uma variável de fácil determinação e um método não destrutivo.

Outro fator muito importante é o diâmetro do coleto (D), e através dos resultados pode-se constatar um acréscimo de 18% no tratamento T4 em comparação ao T5. Estudos demonstram que mudas com melhor relação altura/diâmetro demonstram maior equilíbrio e conseqüentemente maior vigor (MENEGATTI et al., 2009), o que facilita o manejo no campo bem como são maiores as chances de sobrevivência da muda, porém Gomes et al. (2002) ressalta que 90 dias de idade após o plantio os volumes dos tubetes começam a restringir o crescimento das mudas, fazendo com que haja maior crescimento do diâmetro do coleto.

As doses de N também apresentaram influência sobre os teores de macro e micronutrientes foliares. Cabe destacar que avaliações nutricionais foliares de macro e micronutrientes são imprescindíveis, tendo em vista que aspectos morfológicos considerados dentro dos parâmetros mínimos exigidos podem conter deficiências nutricionais devido a uma série de fatores, principalmente espécies nativas, que toleram bem determinados nutrientes em contrapartida de outros.

Desta forma, foi analisado os conteúdos de macro e micronutrientes da parte aérea das mudas de *Alibertia edulis* (Tabela 10). Através dos resultados da análise de variância, foi constatada a ocorrência de diferença estatística significativa nas variáveis nutricionais N, K, Mg, B, Fe e Mn. Para P, Ca, S, Cu e Zn não houve significância. A utilização do N potencializou o uso da adubação de cobertura em *Alibertia edulis*, permitindo ganhos nos conteúdos nutricionais das mudas, principalmente Nitrogênio, e ao comparar o nanofertilizante arbolina com o tratamento em que não foi aplicada nenhuma adubação, se constatou um incremento acima de 19%.

Tabela 10. Conteúdos de macro (g/Kg) e micronutrientes (ppm) da parte aérea de mudas de *Alibertia edulis* produzidas com diferentes formas e doses de adubação de cobertura

TRATAMENTO	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
ZAPL.	29,1b	7,4a	18,0a	11,9a	6,5a	1,5a	28,7a	6,1a	535,6a	38,4a	18,3a
NANO	36,2a	4,8a	5,3b	7,7a	4,5b	1,5a	16,2b	4,2a	438,9b	23,2b	13,3a
UREIA	29,6b	6,0a	4,5b	7,1a	4,2b	0,3a	33,5a	4,4a	330,6c	37,2a	22,1a

ZAPL= Nenhuma aplicação nutricional (T0); NANO = Nanofertilizante (T1, T2, T3 e T4); UREIA = T5, T6, T7 e T8. N = nitrogênio; P = fósforo; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; S = enxofre; Cu = cobre; Fe = ferro; Zn = zinco; Mn = manganês; B = boro. Médias seguidas pela mesma letra não se diferenciam pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

O nitrogênio é o principal nutriente para o crescimento das plantas, influenciando diretamente no desenvolvimento foliar e crescimento inicial (Verde *et al.*, 2011), ficando evidente, através dos valores nutricionais de N juntamente com os resultados das características morfológicas encontradas nas mudas de *Alibertia edulis* que o nanofertilizante proporcionou acréscimo satisfatório.

O valor de N (36,2 g/kg) encontrado na parte aérea (folhas e galhos) de *Alibertia edulis* nos tratamentos com aplicação de nanofertilizante ficou acima de valores descritos por Freiburger *et al.* (2013) ao estudarem adubação nitrogenada para *Cedrelela fissilis* Vell. (6,9 g/Kg⁻¹), ficando abaixo inclusive dos tratamentos sem nenhuma aplicação de N e o com aplicação de ureia.

Através da análise de variáveis canônicas (Figura 27), fica evidente o incremento superior de N obtido nos tratamentos onde houve aplicação de nanofertilizante em relação ao tratamento sem nenhuma aplicação de nutriente e ureia. Para os demais macronutrientes P, K, Ca, Mg e S foram mais próximas do tratamento T0, corroborando com o teste de médias, que demonstrou ser o melhor tratamento para essas variáveis. Cabe destacar que não havia formulação aplicada especificamente para o incremento do Fósforo, Potássio, Enxofre, Cálcio e Magnésio.

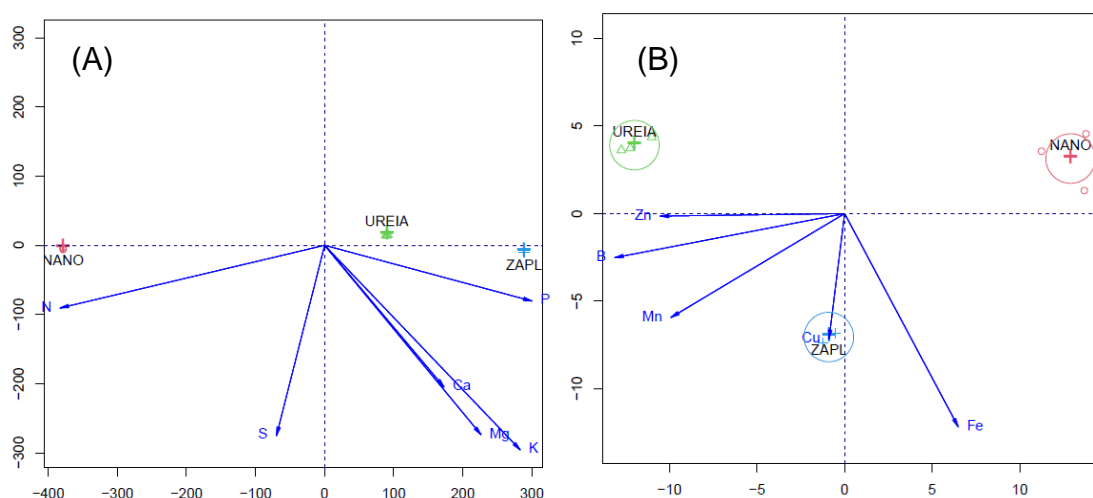


Figura 27. Representação gráfica das variáveis canônicas para variáveis nutricionais dos macronutrientes (A), e micronutrientes (B) em *Alibertia edulis*, com diferentes doses de nanofertilizante e ureia via adubação de cobertura. 0, 2, 4, 6 e 8 ml de nanofertilizante e 2, 4, 6 e 8 g/litro de ureia (g L⁻¹). N = nitrogênio; P = Fósforo; K = Potássio; Ca = Cálcio; Mg = Magnésio; S = Enxofre; B= Boro; Cu = Cobre; Fe = Ferro; Mn = Manganês; Zn = Zinco.

Os micronutrientes Boro, Cobre, Ferro, Manganês tiveram maior associação ao tratamento sem aplicação de adubação. Já o Zinco teve maior

associação com os tratamentos onde foram aplicadas doses de ureia, corroborando com o teste de médias que apontou superioridade.

Ao confrontar os resultados obtidos com estudos realizados por Alves et al. (2016), em mudas de *Khaya ivorensis* em que encontraram teores de Boro (25,78 mg/kg⁻¹), Cobre (3,52 mg/kg⁻¹), Manganês (29,98 mg/kg⁻¹), Zinco (27,47 mg/kg⁻¹) verificamos a proximidade dos dados. Os autores relatam que, os valores citados anteriormente são os maiores teores foliares, e foram encontrados em mudas sem adição de nutrientes.

Já o valor do micronutriente Ferro encontrado em T0 (535,6 ppm), nanofertilizante (438,9 ppm) e ureia (330,0 ppm) ficaram acima de valores encontrados por Alves et al. (2016), para a espécie *Khaya ivorensis*, com teor foliar de Ferro de 170,98 mg.kg⁻¹. Para copaíba, *Copaifera langsdorffii*, foi encontrado teor de Fe de 97 mg.kg⁻¹ (HARIDASAN, 2000).

Em geral, plantas sujeitas a concentrações elevadas de Ferro absorvem e acumulam grandes quantidades em seus tecidos, causando toxicidade. As características de toxicidade são o amarelamento das folhas e o escurecimento das raízes, fazendo com que haja perdas no crescimento e na produtividade das plantas (ARRIVABENE et al., 2015; JUCOSKI et al., 2016; SIQUEIRA-SILVA et al., 2012). O teor foliar pode apresentar variar de acordo com diversas características, podendo ser extrínseca como época do ano e intrínseca como idade, tamanho entre outras.

Através da análise de variância, se verificou diferença estatística significativa nas variáveis referentes à lixiviação de N pelas mudas de *Alibertia edulis* (Tabela 11). O tratamento T0 ficou com menor teor de nitrogênio lixiviado, apresentando 96% menos N em relação ao nanofertilizante e a ureia.

Geralmente, a lixiviação em plantas onde se utilizou adubação com nanofertilizantes é em média 30% menor quando comparada com adubação realizada de forma convencional, como a ureia por exemplo (Ahmad et al., 2023; Al-Mamun et al., 2021; Grewal; Goel; Arya, 2023; Guleria et al., 2023; Ijaz et al., 2023; Mahawar et al., 2023; Sheoran et al., 2021; Vanti; Belur; Husen, 2023; Venkatachalam et al., 2017), o que não foi confirmado em *Alibertia edulis*.

4. CONCLUSÕES

A aplicação de nanofertilizante via adubação de cobertura promoveu maior qualidade morfológica e teor de nitrogênio na parte aérea de mudas de *Alibertia edulis*.

A espécie respondeu de forma diferenciada ao nanofertilizante, sendo que as mudas que obtiveram melhores respostas estavam contidas no tratamento T4, com aplicação de 8 ml por muda. O nanofertilizante não reduziu a lixiviação de nitrogênio.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMAD, F. et al. Influence of silicon nano-particles on *Avena sativa* L. to alleviate the biotic stress of *Rhizoctonia solani*. **Scientific Reports**, v. 13, n. 1, 2023.

AIN, Q. UL et al. Use of nano-fertilizers to improve the nutrient use efficiencies in plants. **Sustainable Plant Nutrition**, p. 299–321, 2023.

AJIRLOO, A. R.; SHAABAN, M.; MOTLAGH, Z. R. Effect of k nano-fertilizer and n bio-fertilizer on yield and yield components of tomato (*Lycopersicon Esculentum* L.). **Int. J. Adv. Biol. Biom. Res**, v. 3, n. 1, p. 138–143, 2015.

AKCURA, M. et al. Fatty acid and some micro element compositions of cluster bean (*Cyamopsis tetragonoloba*) genotype seeds growing under Mediterranean climate. **Industrial Crops and Products**, v. 128, p. 140–146, 2019.

ALLISON, L. E. Wet-Combustion Apparatus and Procedure for Organic and Inorganic Carbon in Soil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 24, n. 1, p. 36–40, 1960.

AL-MAMUN, M. R. et al. Nanofertilizers towards sustainable agriculture and environment. **Environmental Technology & Innovation**, v. 23, p. 101658, 2021.

ALMEIDA, S. P. DE et al. **Cerrado: espécies vegetais úteis**. 1. ed. Planaltina: Embrapa, 1998.

PASQUETTI, A. L. B. et al. Growth of *Cordia trichotoma* seedlings in different sizes of recipients and doses of fertilizer. **African Journal of Agricultural, Research** v. 11, n. 28, p. 2450–2455, 2016.

ALVES, M. DE S. et al. Crescimento e marcha de absorção de nutrientes em mudas de *Khaya ivorensis*. **Acta Iguazu**, v. 5, n. 4, p. 95–110, 2016.

APHA –AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for examination of water and wastewater**. 19. ed. Washinton: American Public Health Association, 1995.

ARRIVABENE, H. P. et al. Effect of pollution by particulate iron on the morphoanatomy, histochemistry, and bioaccumulation of three mangrove plant species in Brazil. **Chemosphere**, v. 127, p. 27–34, 2015.

AUGUSTO, M. et al. Doses de Adubo Nitrogenado nas Características Morfofisiológicas de Mudas de Mogno Brasileiro. **Ensaios e Ciência C Biológicas Agrárias e da Saúde**, v. 27, n. 1, p. 79–86, 2023.

AVELINO, N. R. et al. Alocação de biomassa e indicadores de crescimento para a avaliação da qualidade de mudas de espécies florestais nativas. **Ciência Florestal**, v. 31, n. 4, p. 1733–1750, 2022.

AVESTAN, S.; NASERI, L.; NAJAFZADEH, R. Improvement of in vitro proliferation of apple (*Malus domestica* Borkh.) by enriched nano chelated iron fertilizer. **International Journal of Horticultural Science and Technology**, v. 5, n. 1, p. 43–51, 1 jun. 2018.

AZEVEDO, G. T. O. S. **Produção de mudas nativas do Cerrado com hidrogel incorporado ao substrato**. Tese de doutorado em Ciências Florestais—Brasília: Universidade de Brasília, 2018.

BADRAN, A.; SAVIN, I. Effect of nano-fertilizer on seed germination and first stages of bitter almond seedlings' growth under saline conditions. **bionanoscience**, v. 8, n. 3, p. 742–751, 2018.

BATAGLIA, O. C. et al. **Métodos de análise química de planta**. Campinas: 1983.

BHERING, L. L. Rbio: A tool for biometric and statistical analysis using the R platform. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 17, n. 2, p. 187–190, 2017.

BINOTTO, A. F.; DAL' COL LÚCIO, A.; LOPES, S. J. Correlations between growth variables and the Dickson quality index in forest seedlings. **Cerne**, v. 16, n. 4, p. 457–464, 2010.

BÖHM, W. Methods of Studying Root Systems. *Ecological Studies*. v. 33, 1979.

CARDOSO, M. R. D.; MARCUZZO, F. F. N.; BARROS, J. R. Classificação Climática de Köppen-Geiger para o Estado de Goiás e o Distrito Federal. **Acta geográfica**, v. 8, n. 16, p. 40–55, 2014.

CHATTERJEE, C.; GOPAL, R.; DUBE, B. K. Impact of iron stress on biomass, yield, metabolism and quality of potato (*Solanum tuberosum* L.). **Scientia Horticulturae**, v. 108, n. 1, p. 1–6, 2006.

CHEN, Y.; MAGEN, H.; CLAPP, C. E. Mechanisms of plant growth stimulation by humic substances: The role of organo-iron complexes. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 50, n. 7, p. 1089–1095, 2004.

CHERBUY, B. et al. Internal remobilization of carbohydrates, lipids, nitrogen and phosphorus in the Mediterranean evergreen oak *Quercus ilex*. **Tree Physiology**, v. 21, n. 1, p. 9–17, 2001.

COSTA, C. C.; ALMEIDA, L. E.; CASTRO, V. R. DE. Produção de mudas de jenipapo (*Genipa americana* L.) em tubetes biodegradáveis. **Revista Ambientale**, v. 15, n. 2, p. 23–31, 2023.

DA SILVA, E. A. et al. Efeitos da rochagem e de resíduos orgânicos sobre aspectos químicos e microbiológicos de um subsolo exposto e sobre o crescimento de *Astronium fraxinifolium* Schott. **Revista Árvore**, v. 32, n. 2, p. 323–333, 2008.

- DANIELS, T. L. Integrating Forest carbon sequestration into a cap-and-trade program to reduce net CO₂ emissions. **Journal of the American Planning Association**, v. 76, n. 4, p. 463–475, 2010.
- DANTAS, R. DE P. et al. QUALIDADE DE MUDAS DE *Tabebuia aurea* (Manso) Benth. & Hook. EM DOIS AMBIENTES E DIFERENTES NÍVEIS DE FERTIRRIGAÇÃO. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 3, p. 1253–1262, 2018.
- DAVARPANA, S. et al. Effects of foliar applications of zinc and boron nano-fertilizers on pomegranate (*Punica granatum* cv. Ardestani) fruit yield and quality. **Scientia Horticulturae**, v. 210, p. 57–64, 2016.
- DAVARPANA, S. et al. effects of foliar nano-nitrogen and urea fertilizers on the physical and chemical properties of pomegranate (*Punica granatum* cv. Ardestani) Fruits. **HortScience**, v. 52, n. 2, p. 288–294, 2017.
- DE MELO, L. A. et al. Qualidade e crescimento inicial de mudas de *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth. produzidas em diferentes volumes de recipientes. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 1, p. 47–55, 2018.
- DE SOUZA, N. H. et al. Estudo nutricional da canafístula (I): crescimento e qualidade de mudas em resposta à adubação com nitrogênio e fósforo. **Revista Árvore**, v. 37, n. 4, p. 717–724, 2013.
- DENG, W. et al. Heml: A toolkit for illustrating heatmaps. **PLoS ONE**, v. 9, n. 11, 2014.
- DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. v. 36, n. 1, p. 10–13, 1960.
- DING, W. et al. Effects of nitrogen deposition on growth and relationship of Robinia pseudoacacia and *Quercus acutissima* seedlings. **Dendrobiology**, v. 67, p. 3–13, 2012.
- DUTRA, T. R. et al. Crescimento inicial e qualidade de mudas de caviúna-do-cerrado e caroba-do-campo em resposta à adubação nitrogenada. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 11, n. 3, p. 52–61, 2015.
- DUTRA, T. R. et al. Fertilizante de liberação lenta no crescimento e qualidade de mudas de canafístula (*Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub.). **Floresta**, v. 46, n. 4, p. 491–498, 2017.
- EKINCI, M. et al. Effects of nanotechnology liquid fertilizers on the plant growth and yield of cucumber (*Cucumis sativus* L.). **Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus**, v. 13, n. 3, p. 135–141, 2014.
- EL-BIALY, S. M. et al. Biological nanofertilizers to enhance growth potential of strawberry seedlings by boosting photosynthetic pigments, plant enzymatic antioxidants, and nutritional status. **Plants** 2023, v. 12, n. 2, p. 302, 2023.
- FERNANDES, M. et al. Crescimento e qualidade de mudas de *Citharexylum myrianthum* em resposta à fertilização nitrogenada. **Advances in Forestry Science**, v. 6, n. 1, p. 507–513, 2019.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a guide for its bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciênc. agrotec.**, v. 38, 2014.

FREIBERGER, M. B. et al. Crescimento inicial e nutrição de cedro (*Cedrela fissilis* Vell.) em função de doses de nitrogênio. **Revista Árvore**, v. 37, n. 3, p. 385–392, 2013.

GASPARIN, E. et al. Influência do substrato e do volume de recipiente na qualidade das mudas de *Cabralea canjerana* (Vell.) Mart. em viveiro e no campo. **Ciência Florestal**, v. 24, p. 553–563, 2014.

GOMES, D. G. et al. Advances in nano-based delivery systems of micronutrients for a greener agriculture. **Advances in Nano-Fertilizers and Nano-Pesticides in Agriculture: A Smart Delivery System for Crop Improvement**, p. 111–143, 2021.

GOMES, J. M. et al. Parâmetros morfológicos na avaliação de qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v. 26, n. 6, p. 655–664, 2002.

GOMES, S. H. M. et al. Avaliação dos parâmetros morfológicos da qualidade de mudas de *Paubrasilia echinata* (pau-brasil) em viveiro florestal. **Scientia Plena**, v. 15, n. 1, 27 fev. 2019.

GREIPSSON, S.; CROWDER, A. A. Amelioration of copper and nickel toxicity by iron plaque on roots of rice (*Oryza sativa*). **Canadian Journal of Botany**, v. 70, n. 4, p. 824–830, 1 abr. 1992.

GREWAL, S.; GOEL, S.; ARYA, A. Impact and current perspectives of NPs on soil nutrients. **The Impact of Nanoparticles on Agriculture and Soil**, p. 129–138, 2023.

GULERIA, G. et al. Nanotechnology for sustainable agro-food systems: The need and role of nanoparticles in protecting plants and improving crop productivity. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 194, p. 533–549, 2023.

GUO, C. et al. Application of controlled-release urea in rice: reducing environmental risk while increasing grain yield and improving nitrogen use efficiency. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 47, n. 9, p. 1176–1183, 2016.

GUO, H. et al. Nano-enabled fertilizers to control the release and use efficiency of nutrients. **Current Opinion in Environmental Science and Health**, v. 6, p. 77–83, 2018.

HAGAGG, L. et al. Effect of spraying nano-NPK on growth performance and nutrients status for (Kalamat cv.) olive seedling. **Bioscience Research**, v. 15, n. 2, p. 1297–1303, 2018.

HAGAGG, L. F.; EL-HADY, E. S. Impact of nanotechnology application on decreasing used rate of mineral fertilizers and improving vegetative growth of Aggizi olive seedlings. **Bioscience Research**, v. 15, n. 2, p. 1304–1311, 2018.

HARIDASAN, M. Nutrição mineral de plantas nativas do Cerrado. Em: **Temas atuais em botânica**. v. 24p. 15–26, 2000.

HAYYAWI, W. A. A.; QUSAY, M. N. A.-S. Impact of fertigation of nano NPK fertilizers, nutrient use efficiency and distribution in soil of potato (*Solanum tuberosum* L.). **Plant Arch.**, v. 19, n. 1, p. 1087–1096, 2019.

HUO, X. et al. Increased survival rate of *Quercus aliena* var. *Acuteserrata* seedlings via nitrogen addition for the succession of pine and pine-oak mixed forests to oak forest. **Forest Ecology and Management**, v. 508, p. 120051, 2022.

IJAZ, M. et al. Nanobiotechnology to advance stress resilience in plants: Current opportunities and challenges. **Materials Today Bio**, v. 22, 2023.

JAKHAR, A. M. et al. Nano-fertilizers: A sustainable technology for improving crop nutrition and food security. **NanoImpact**, v. 27, p. 100411, 2022.

JAKIENĖ, E. et al. The bio-organic nano fertilizer improves sugar beet photosynthesis process and productivity. **Žemdirbystė Agr.**, v. 102, n. 2, p. 141–146, 2015.

JASP TEAM. **JASP Team**. 2023.

JOSEPH, S. et al. Shifting paradigms: Development of high-efficiency biochar fertilizers based on nano-structures and soluble components. **Carbon Management**, v. 4, n. 3, p. 323–343, 2013.

JUBEIR, S. M.; AHMED, W. A. Effect of nanofertilizers and application methods on vegetative growth and yield of date palm. **IRAQI JOURNAL OF AGRICULTURAL SCIENCES**, v. 50, n. 1, p. 267–274, 2019.

JUCOSKI, G. D. O. et al. Excesso de ferro sobre o crescimento e a composição mineral em *Eugenia uniflora* L. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 4, p. 720-728, 2016.

LANDIS, T. D. **Nutrientes minerais e fertilização**. 4. ed. Agriculture Handbook 674 - USDA Forest Service, 1989.

LE, T. T. H. et al. Novel Integrated Nanofertilizers for Improving the Growth of *Polyscias fruticosa* and *Asparagus officinalis*. **Journal of Nanomaterials**, v. 2022, 2022.

LEITE, T. DE S. et al. Produção de mudas de *Enterolobium contortisiliquum* e partição de assimilados em resposta à adubação fosfatada e inoculação com fungos micorrízicos. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 4, p. 1157–1166, 2017.

LELAND WILKINSON; MICHAEL FRIENDLY. The History of the Cluster Heat Map. **The American Statistician**, v. 63, n. 2, p. 179–184, 2009.

LIMA, V. Y. DE M.; ARAÚJO, A. L. D. DE; AMARO, M. A. Ajuste de equações hipsométricas, volumétricas, de biomassa e carbono do fuste de árvores

utilizadas na arborização urbana no Parque da Maternidade em Rio Branco-Acre. **Scientia Naturalis**, v. 2, n. 2, p. 569–582, 2020.

LIZAMA ALLENDE, K.; FLETCHER, T. D.; SUN, G. The effect of substrate media on the removal of arsenic, boron and iron from an acidic wastewater in planted column reactors. **Chemical Engineering Journal**, v. 179, p. 119–130, 2012.

LOPES, E. C. et al. Crescimento de mudas de mangue sob diferentes níveis de sombreamento na península de *Ajuruteua*, *Bragança*, Pará. **Acta Amazonica**, v. 43, n. 3, p. 291–296, 2013.

MAHAWAR, L. et al. Silicon nanoparticles: Comprehensive review on biogenic synthesis and applications in agriculture. **Environmental Research**, v. 232, 2023.

MÁRQUEZ-PRIETO, A. K. et al. Impact of the foliar application of potassium nanofertilizer on biomass, yield, nitrogen assimilation and photosynthetic activity in green beans. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, v. 50, n. 1, p. 12569–12569, 2022.

MCMAHEN, K. et al. Small-volume additions of forest topsoil improve root symbiont colonization and seedling growth in mine reclamation. **Applied Soil Ecology**, v. 180, p. 104622, 2022.

MENEGATTI, R. D. et al. Formação de mudas de guatambu em substrato com hidrogel e fertilizante de liberação controlada, **Espacios**, v. 38, 2017.

MERELES, F. et al. Phytosociological studies in the Great Chaco: Structure, floristic composition and variability of the *Schinopsis balansae* forest in the humid boreal Chaco, Paraguay. **Bonplandia**, v. 29, n. 1, p. 39–55, 2020.

MEWS, C. L. et al. Efeito do hidrogel e ureia na produção de mudas de *Handroanthus ochraceus* (Cham.) Mattos. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 1, p. 107–116, 2015.

MIRANDA, L. P. M. DE et al. Custo para implantação de *Astronium fraxinifolium* Schott em área degradada utilizando-se adubos verdes e lodo de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, p. 475–480, 2011.

MOGHADAM, A. et al. Effect of different levels of fertilizer nano_iron chelates on growth and yield characteristics of two varieties of spinach (*Spinacia oleracea* L.): Varamin 88 and Viroflay. **Agricultural and Food Sciences** 2012.

MOHASEDAT, Z. et al. The Effects of Nano-bio Fertilizer on Vegetative Growth and Nutrient uptake in Seedlings of three apple cultivars. **Adv. Biores**, v. 9, n. 2, p. 128–134, 2018.

MOHD NOR, M. R.; ZAMRI, I.; KHALISANNI, K. Effect of nano fertilizer on early growth, height and stem diameter of dwarfed long bean (*Vigna sesquipedalis*). **Trans. Malaysian Soc. Plant Physiol**, v. 25, p. 89–92, 2018.

OLIET, J. A. et al. Nursery fertilization and tree shelters affect long-term field response of *Acacia salicina* Lindl. planted in Mediterranean semiarid conditions. **Forest Ecology and Management**, v. 215, n. 1–3, p. 339–351, 2005a.

PÉREZ-FLORES, J. et al. Fruit characterization and plant quality of Spanish cedar (*Cedrela odorata* L.) during the early nursery stage. **Agro Productividad**, 2023.

PIRES DE CASTRO FARIA, I. et al. Qualidade nutricional e culinária de cultivares de arroz adubado com doses de nitrogênio. **Agri-environmental Sciences**, v. 6, p. 10–10, 2020.

PUTTONEN, P. Looking for the “silver bullet” - Can one test do it all? **New Forests**, v. 13, n. 1–3, p. 9–27, 1997.

RABELO, L. K. L. et al. Espécies frutíferas na arborização urbana do município de Santarém, Pará. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 10, n. 3, p. 335–341, 2019.

ROSHDY, KH.; REFAAI, M. Effect of nanotechnology fertilization on growth and fruiting of zaghoul date palms. **Journal of Plant Production**, v. 7, n. 1, p. 93–98, 2016.

SANTOS, C. C. et al. Chicken manure and luminous availability influence gas exchange and photochemical processes in *Alibertia edulis* (Rich.) A. Rich seedlings. **Engenharia Agrícola**, v. 40, n. 4, p. 420–432, 2020.

SELEIMAN, M. F. et al. Nano-Fertilization as an Emerging Fertilization Technique: Why Can Modern Agriculture Benefit from Its Use? **Plants** 2021, v. 10, n. 1, p. 2, 2020.

SELEIMAN, M. F. et al. Salinity stress in wheat: effects, mechanisms and management strategies. **Phyton**, v. 91, n. 4, p. 667–694, 2022.

SHEN, Y. et al. Linking soil nutrients and traits to seedling growth: A test of the plant economics spectrum. **Forest Ecology and Management**, v. 505, p. 119941, 2022.

SHEORAN, P. et al. Enhancement of growth and yield, leaching reduction in *Triticum aestivum* using biogenic synthesized zinc oxide nanofertilizer. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 32, p. 101938, 2021.

SILVA, P. O. DA et al. Ureia como fonte de nitrogênio na fisiologia e crescimento inicial de *Guazuma ulmifolia* Lam. (Malvaceae). **Ciência Florestal**, v. 30, n. 4, p. 1192–1200, 2020.

SIQUEIRA-SILVA, A. I. et al. Iron plaque formation and morphoanatomy of roots from species of restinga subjected to excess iron. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 78, p. 265–275, 2012.

SOMAVILLA, A. et al. Avaliações morfológicas de mudas de Cedro australiano submetidas a diferentes doses do fertilizante osmocote plus®. **Comunicata Scientiae**, v. 5, n. 4, p. 493–498, 2014.

TARCISIO, A.; QUEIROZ, S.; COSTA DE OLIVEIRA, B. Ação de microrganismos promotores do crescimento de plantas: uma revisão sistemática da literatura. **Revista psipro**, v. 2, n. 5, p. 98–112, 2023.

TIMMER, V. R.; MUNSON, A. D. Site-specific growth and nutrition of planted Piceamariana in the Ontario Clay Belt. IV. Nitrogen loading response. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 21, n. 7, p. 1058–1065, 2011.

TUCCI, A. F. C.; LIMA, N. H.; LESSA, J. F. Adubação nitrogenada na produção de mudas de mogno (*Swietenia macrophylla* King). **Acta Amaz.**, v. 39, n. 2, p. 289–294, 2009.

VANTI, G.; BELUR, S.; HUSEN, A. Use of nanomaterials in agricultural sectors. **Advances in Smart Nanomaterials and their Applications**, p. 445–467, 2023.

VENKATACHALAM, P. et al. Enhanced plant growth promoting role of phycomolecules coated zinc oxide nanoparticles with P supplementation in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 110, p. 118–127, 2017.

VERDE, R. et al. Crescimento inicial de mudas de açaizeiro em resposta a doses de nitrogênio e potássio. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 6, n. 2, p. 45, 2011.

WANG, J. et al. Main and interactive effects of increased precipitation and nitrogen addition on growth, morphology, and nutrition of *Cinnamomum burmanni* seedlings in a tropical forest. **Global Ecology and Conservation**, v. 20, p. e00734, 2019.

YAMATO, M. et al. Effects of the application of charred bark of *Acacia mangium* on the yield of maize, cowpea and peanut, and soil chemical properties in South Sumatra, Indonesia. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 52, n. 4, p. 489–495, 2006.

YANAI, Y.; TOYOTA, K.; OKAZAKI, M. Effects of charcoal addition on N₂O emissions from soil resulting from rewetting air-dried soil in short-term laboratory experiments: Original article. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 53, n. 2, p. 181–188, 2007.

YASEEN, A. A.; KADIM, A. M. Impact of nano chelated iron, ga₃ and organic fertilizer (Acadian) in moringa leaves content of α -tocopherol and phytosterols. **Research Journal of Pharmacy and Technology**, v. 11, n. 5, p. 1840–1846, 2018.

ZAGZOG, O.; GAD, M. Improving Growth, Flowering, Fruiting and Resistance of Malformation of Mango Trees using Nano-Zinc. **Middle East J. Agr. Res**, v. 6, n. 3, p. 673–681, 2017.

ZAHAWI, R. A. et al. The Effect of Restoration Treatment Soils and Parent Tree on Tropical Forest Tree Seedling Growth. **Open Journal of Forestry**, v. 5, n. 2, p. 154–161, 2015.

ZULFIQAR, F. et al. Nanofertilizer use for sustainable agriculture: Advantages and limitations. **Plant Science**, v. 289, p. 110270, 1 dez. 2019.