



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA - UFRA
MESTRADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

PEDRO HENRIQUE OLIVEIRA SIMÕES

CRESCIMENTO, RESPOSTA FISIOLÓGICA E BIOQUÍMICA DE MUDAS DE
***Tachigali vulgaris* L.G. Silva & H.C. Lima EM FUNÇÃO DE FONTES E DOSES**
DE NITROGÊNIO

BELÉM
2015

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA - UFRA
MESTRADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

PEDRO HENRIQUE OLIVEIRA SIMÕES

**CRESCIMENTO, RESPOSTA FISIOLÓGICA E BIOQUÍMICA DE MUDAS DE
Tachigali vulgaris L.G. Silva & H.C. Lima, EM FUNÇÃO DE FONTES E DOSES
DE NITROGÊNIO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Ciências Florestais: área de concentração Ecofisiologia de árvores, para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Cândido Ferreira de Oliveira Neto

Co-orientador: Prof. Dr. Rodrigo Silva do Vale

BELÉM
2015

Simões, Pedro Henrique Oliveira

Crescimento, resposta fisiológica e bioquímica de mudas de *Tachigali vulgaris* L.G. Silva & H.C. Lima em função de fontes e doses de nitrogênio / Pedro Henrique Oliveira Simões. - Belém, 2015.

108 f.

Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural da Amazônia, 2015.

Orientador: Cândido Ferreira de Oliveira Neto

1. *Tachigali vulgaris* L. G. Silva & H. C. Lima – mudas - nutrição
2. *Tachigali vulgaris* L. G. Silva & H. C. Lima - adubação 3. Espécie florestal – nutrição 4. Biomassa - produção 5. Metabolismo I. Título.

CDD – 631.422

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA - UFRA
MESTRADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

PEDRO HENRIQUE OLIVEIRA SIMÕES

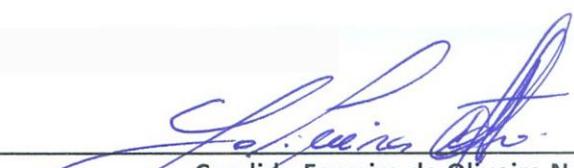
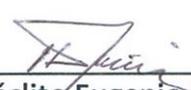
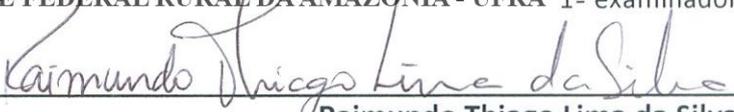
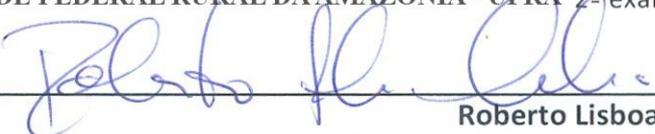
CRESCIMENTO, RESPOSTA FISIOLÓGICA E BIOQUÍMICA DE MUDAS DE
Tachigali vulgaris **L.G. Silva & H.C. Lima EM FUNÇÃO DE FONTES E DOSES**
DE NITROGÊNIO

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais, área de concentração Ecofisiologia de árvores, para a obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais.

Orientador: Prof. Dr. Cândido Ferreira de Oliveira Neto

Aprovado em: 30 de dezembro de 2015.

BANCA EXAMINADORA


_____ Cândido Ferreira de Oliveira Neto UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA - UFRA Presidente

_____ Heráclito Eugênio Oliveira da Conceição UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA - UFRA 1º examinador

_____ Raimundo Thiago Lima da Silva UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA - UFRA 2º examinador

_____ Roberto Lisboa Cunha EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL 3º examinador

Dedico,

À Deus.

Aos meus pais Fernando e Lourdes.

Aos meus queridos avós Raimundo e Heloísa.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pelo dom da vida e por me oferecer condições para lutar pelos meus sonhos.

Ao Prof. Dr. Fernando Jardim, que me deu oportunidade de ingressar no mestrado, aceitando me orientar no início do curso e que, apesar de torcer para o Paysandu, considero um amigo. Além de agradecer, desejo-lhe saúde na sua recuperação.

Ao Prof. Dr. Cândido Neto, que aceitou me orientar na reta final e acreditou no meu trabalho, oferecendo todo o apoio e condições para a realização das análises bioquímicas e finalização dessa dissertação.

Aos meus familiares.

À Universidade Federal Rural da Amazônia.

À Coordenação e aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, pela oportunidade de realização deste curso e valorosos ensinamentos que levarei para toda a vida.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Prof. Dr. Rodrigo Vale, meu Co-Orientador, que me apoiou e deu oportunidades desde a graduação, sendo imprescindível para a realização desse trabalho.

Ao prof. Dr. Paulo Eremita, pelos ensinamentos e pela amizade.

Aos Professores Dr. Roberto Lisboa Cunha, Dr. Ricardo Shigueru Okumura, Dr. Raimundo Thiago Lima da Silva e Dr. Heráclito Eugênio Oliveira da Conceição, pelas críticas e sugestões à dissertação.

Ao amigo Lenilson e aos amigos que fiz no EBPS, pelo auxílio nas análises bioquímicas, Kerolém, Karol, Wander e todos os demais, que me ajudaram muito nessa fase do meu trabalho.

Ao Instituto de Ciências Agrárias e todos seus funcionários.

Muito OBRIGADO!

BIOGRAFIA

Pedro Henrique Oliveira Simões, filho de José Fernando Albuquerque Simões e Maria de Lourdes Oliveira Simões, nasceu em 16/07/1991, em Belém, PA, Brasil.

Em 2009 ingressou no curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal Rural da Amazônia, graduando-se em setembro de 2013.

Em março de 2014, iniciou os estudos no curso de Mestrado em Ciências Florestais, do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais da Universidade Federal Rural da Amazônia, defendendo sua dissertação em 30 de dezembro de 2015.

Há um prazer nas florestas desconhecidas;
Um entusiasmo na costa solitária;
Uma sociedade onde ninguém penetra;
Pelo mar profundo e música em seu rugir;
Amo não menos o homem, mas mais a natureza...

Lord Byron

Pouco conhecimento faz com que as pessoas se sintam orgulhosas. Muito conhecimento, que se sintam humildes. É assim que as espigas sem grãos erguem desdenhosamente a cabeça para o Céu, enquanto que as cheias as baixam para a terra, sua mãe.

Leonardo da Vinci

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Valores médios de temperatura (A) e umidade relativa do ar (B), ocorridas durante o período experimental, e déficit de pressão de vapor do ar (C), dentro da casa de vegetação. 35
- Figura 2.** Altura da parte aérea (H) de mudas de *T. vulgaris* em resposta às doses de nitrogênio, para quatro fontes testadas (FONTE 1 = ureia; FONTE 2 = sulfato de amônio; FONTE 3 = nitrato de amônio e FONTE 4 = nitrato de cálcio), ao final do experimento ($\alpha = 0,05$). 38
- Figura 3.** Diâmetro do coleto (DC) de mudas de *T. vulgaris* em resposta às doses de nitrogênio, para quatro fontes testadas (FONTE 1 = ureia; FONTE 2 = sulfato de amônio; FONTE 3 = nitrato de amônio e FONTE 4 = nitrato de cálcio), ao final do experimento ($\alpha = 0,05$). 39
- Figura 4.** Relação altura da parte aérea e diâmetro do coleto (RHDC) de mudas de *T. vulgaris* em resposta às doses de nitrogênio, para quatro fontes testadas (FONTE 1 = ureia; FONTE 2 = sulfato de amônio; FONTE 3 = nitrato de amônio e FONTE 4 = nitrato de cálcio), ao final do experimento ($\alpha = 0,05$).40
- Figura 5.** Matéria seca de parte aérea (MSPA) de mudas de *T. vulgaris* em resposta às doses de nitrogênio, para quatro fontes testadas (FONTE 1 = ureia; FONTE 2 = sulfato de amônio; FONTE 3 = nitrato de amônio e FONTE 4 = nitrato de cálcio), ao final do experimento ($\alpha = 0,05$). 42
- Figura 6.** Matéria seca de raiz (MSR) de mudas de *T. vulgaris* em resposta às doses de nitrogênio, para quatro fontes testadas (FONTE 1 = ureia; FONTE 2 = sulfato de amônio; FONTE 3 = nitrato de amônio e FONTE 4 = nitrato de cálcio), ao final do experimento ($\alpha = 0,05$). 43
- Figura 7.** Matéria seca total (MST) de mudas de *T. vulgaris* em resposta às doses de nitrogênio, para quatro fontes testadas (FONTE 1 = ureia; FONTE 2 = sulfato de amônio; FONTE 3 = nitrato de amônio e FONTE 4 = nitrato de cálcio), ao final do experimento ($\alpha = 0,05$). 44
- Figura 8.** Relação altura e matéria seca de parte aérea (RHMSPA) de mudas de *T. vulgaris* em resposta às doses de nitrogênio, para quatro fontes testadas (FONTE 1 = ureia; FONTE 2 = sulfato de amônio; FONTE 3 = nitrato de amônio e FONTE 4 = nitrato de cálcio), ao final do experimento ($\alpha = 0,05$).45

- Figura 9.** Relação matéria seca de parte aérea e matéria seca de raiz (MSPAR) de mudas de *T. vulgaris* em resposta às doses de nitrogênio, para quatro fontes testadas (FONTE 1 = ureia; FONTE 2 = sulfato de amônio; FONTE 3 = nitrato de amônio e FONTE 4 = nitrato de cálcio), ao final do experimento ($\alpha = 0,05$).46
- Figura 10.** Índice de qualidade de Dickson (IQD) de mudas de *T. vulgaris* em resposta às doses de nitrogênio, para quatro fontes testadas (FONTE 1 = ureia; FONTE 2 = sulfato de amônio; FONTE 3 = nitrato de amônio e FONTE 4 = nitrato de cálcio), ao final do experimento ($\alpha = 0,05$)..... 47
- Figura 11.** Taxa de fotossíntese (A) de mudas de *T. vulgaris* em resposta às doses de nitrogênio, para quatro fontes testadas (FONTE 1 = ureia; FONTE 2 = sulfato de amônio; FONTE 3 = nitrato de amônio e FONTE 4 = nitrato de cálcio), ao final do experimento ($\alpha = 0,05$). 49
- Figura 12.** Condutância estomática (gs) de mudas de *T. vulgaris* em resposta às doses de nitrogênio, para quatro fontes testadas (FONTE 1 = ureia; FONTE 2 = sulfato de amônio; FONTE 3 = nitrato de amônio e FONTE 4 = nitrato de cálcio), ao final do experimento ($\alpha = 0,05$). 51
- Figura 13.** Concentração interna de CO₂ (Ci) de mudas de *T. vulgaris* em resposta às doses de nitrogênio, para quatro fontes testadas (FONTE 1 = ureia; FONTE 2 = sulfato de amônio; FONTE 3 = nitrato de amônio e FONTE 4 = nitrato de cálcio), ao final do experimento ($\alpha = 0,05$)..... 53
- Figura 14.** Transpiração (E) de mudas de *T. vulgaris* em resposta às doses de nitrogênio, para quatro fontes testadas (FONTE 1 = ureia; FONTE 2 = sulfato de amônio; FONTE 3 = nitrato de amônio e FONTE 4 = nitrato de cálcio), ao final do experimento ($\alpha = 0,05$)..... 54
- Figura 15.** Eficiência do uso da água (EUA) de mudas de *T. vulgaris* em resposta às doses de nitrogênio, para quatro fontes testadas (FONTE 1 = ureia; FONTE 2 = sulfato de amônio; FONTE 3 = nitrato de amônio e FONTE 4 = nitrato de cálcio), ao final do experimento ($\alpha = 0,05$)..... 55
- Figura 16.** Eficiência instantânea de carboxilação (Φ_c) de mudas de *T. vulgaris* em resposta às doses de nitrogênio, para quatro fontes testadas (FONTE 1 = ureia; FONTE 2 = sulfato de amônio; FONTE 3 = nitrato de amônio e FONTE 4 = nitrato de cálcio), ao final do experimento ($\alpha = 0,05$). 56
- Figura 17.** Valores médios de temperatura (A) e umidade relativa do ar (B), ocorridas durante o período experimental, e déficit de pressão de vapor do ar (C), dentro da casa de vegetação. 69

- Figura 18.** Concentração de nitrato acumulado nas folhas de mudas de *T. vulgaris* em função das fontes e doses de nitrogênio (FONTE 1 = ureia; FONTE 2 = sulfato de amônio; FONTE 3 = nitrato de amônio e FONTE 4 = nitrato de cálcio), ao final do experimento ($\alpha = 0,05$). 75
- Figura 19.** Concentração de nitrato acumulado nas raízes de mudas de *T. vulgaris* em função das fontes e doses de nitrogênio (FONTE 1 = ureia; FONTE 2 = sulfato de amônio; FONTE 3 = nitrato de amônio e FONTE 4 = nitrato de cálcio), ao final do experimento ($\alpha = 0,05$). 75
- Figura 20.** Atividade da enzima redutase do nitrato nas folhas de mudas de *T. vulgaris* em função das fontes e doses de nitrogênio (FONTE 1 = ureia; FONTE 2 = sulfato de amônio; FONTE 3 = nitrato de amônio e FONTE 4 = nitrato de cálcio), ao final do experimento ($\alpha = 0,05$). 77
- Figura 21.** Atividade da enzima redutase do nitrato nas raízes de mudas de *T. vulgaris* em função das fontes e doses de nitrogênio (FONTE 1 = ureia; FONTE 2 = sulfato de amônio; FONTE 3 = nitrato de amônio e FONTE 4 = nitrato de cálcio), ao final do experimento ($\alpha = 0,05$). 78
- Figura 22.** Concentração de amônio livre acumulado nas folhas de mudas de *T. vulgaris* em função das fontes e doses de nitrogênio ($\alpha = 0,05$). (FONTE 1 = ureia; FONTE 2 = sulfato de amônio; FONTE 3 = nitrato de amônio e FONTE 4 = nitrato de cálcio), ao final do experimento ($\alpha = 0,05$). 79
- Figura 23.** Concentração de amônio livre acumulado nas raízes de mudas de *T. vulgaris* em função das fontes e doses de nitrogênio ($\alpha = 0,05$). (FONTE 1 = ureia; FONTE 2 = sulfato de amônio; FONTE 3 = nitrato de amônio e FONTE 4 = nitrato de cálcio), ao final do experimento ($\alpha = 0,05$). 80
- Figura 24.** Concentração de aminoácidos solúveis totais nas folhas de mudas de *T. vulgaris* em função das fontes e doses de nitrogênio (FONTE 1 = ureia; FONTE 2 = sulfato de amônio; FONTE 3 = nitrato de amônio e FONTE 4 = nitrato de cálcio), ao final do experimento ($\alpha = 0,05$). 83
- Figura 25.** Concentração de aminoácidos solúveis totais nas raízes de mudas de *T. vulgaris* em função das fontes e doses de nitrogênio (FONTE 1 = ureia; FONTE 2 = sulfato de amônio; FONTE 3 = nitrato de amônio e FONTE 4 = nitrato de cálcio), ao final do experimento ($\alpha = 0,05$). 83
- Figura 26.** Concentração de proteínas solúveis nas folhas de mudas de *T. vulgaris* em função das fontes e doses de nitrogênio (FONTE 1 = ureia; FONTE 2 = sulfato

de amônio; FONTE 3 = nitrato de amônio e FONTE 4 = nitrato de cálcio), ao final do experimento ($\alpha = 0,05$). 84

Figura 27. Concentração de proteínas solúveis nas raízes de mudas de *T. vulgaris* em função das doses de nitrogênio (FONTE 1 = ureia; FONTE 2 = sulfato de amônio; FONTE 3 = nitrato de amônio e FONTE 4 = nitrato de cálcio), ao final do experimento ($\alpha = 0,05$). 84

Figura 28. Concentração de carboidratos solúveis totais nas folhas de mudas de *T. vulgaris* em função das fontes e doses de nitrogênio (FONTE 1 = ureia; FONTE 2 = sulfato de amônio; FONTE 3 = nitrato de amônio e FONTE 4 = nitrato de cálcio), ao final do experimento ($\alpha = 0,05$). 86

Figura 29. Concentração de carboidratos solúveis totais nas raízes de mudas de *T. vulgaris* em função das fontes e doses de nitrogênio (FONTE 1 = ureia; FONTE 2 = sulfato de amônio; FONTE 3 = nitrato de amônio e FONTE 4 = nitrato de cálcio), ao final do experimento ($\alpha = 0,05$). 87

Figura 30. Concentração de sacarose nas folhas de mudas de *T. vulgaris* em função das doses de nitrogênio (FONTE 1 = ureia; FONTE 2 = sulfato de amônio; FONTE 3 = nitrato de amônio e FONTE 4 = nitrato de cálcio), ao final do experimento ($\alpha = 0,05$). 88

Figura 31. Teor de clorofila A nas folhas de mudas de *T. vulgaris* em função das fontes e doses de nitrogênio (FONTE 1 = ureia; FONTE 2 = sulfato de amônio; FONTE 3 = nitrato de amônio e FONTE 4 = nitrato de cálcio), ao final do experimento ($\alpha = 0,05$). 89

Figura 32. Teor de clorofila B nas folhas de mudas de *T. vulgaris* em função das fontes e doses de nitrogênio (FONTE 1 = ureia; FONTE 2 = sulfato de amônio; FONTE 3 = nitrato de amônio e FONTE 4 = nitrato de cálcio), ao final do experimento ($\alpha = 0,05$). 90

Figura 33. Teor de clorofilas totais nas folhas de mudas de *T. vulgaris* em função das fontes e doses de nitrogênio ($\alpha = 0,05$). (FONTE 1 = ureia; FONTE 2 = sulfato de amônio; FONTE 3 = nitrato de amônio e FONTE 4 = nitrato de cálcio), ao final do experimento ($\alpha = 0,05$). 91

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Resultado da análise química do substrato utilizado no experimento, antes da correção. 30
- Tabela 2.** Resumo da análise de variância das variáveis morfológicas altura da parte aérea (H), diâmetro de coleto (DC), massa de matéria seca da parte aérea (MSPA), massa de matéria seca de raiz (MSR), massa de matéria seca total (MST), relação entre a altura e diâmetro de coleto (RHDC), relação entre a altura e massa de matéria seca da parte aérea (RHMSPA), relação entre o peso de matéria seca da parte aérea e a raiz (RMSPAR) e índice de qualidade de Dickson (IQD), na produção mudas de *T. vulgaris* submetidas aos tratamentos. 36
- Tabela 3.** Resumo da análise de variância das trocas gasosas, na produção mudas de *T. vulgaris*, submetidas a diferentes fontes e doses de nitrogênio. 48
- Tabela 4.** Resultado da análise química do substrato utilizado no experimento, antes da correção..... 70
- Tabela 5.** Resumo da análise de variância para o teor de nitrato, atividade da enzima nitrato redutase e tor de amonio, na produção mudas de *T. vulgaris* submetidas aos tratamentos. 74
- Tabela 6.** Resumo da análise de variância das concentrações de solutos orgânicos na produção mudas de *T. vulgaris* submetidas aos tratamentos. 81
- Tabela 7.** Resumo da análise de variância dos teores de pigmentos fotossintéticos, na produção mudas de *T. vulgaris* submetidas aos tratamentos. 89

SUMÁRIO

RESUMO	16
ABSTRACT	17
1. CONTEXTUALIZAÇÃO	17
2. OBJETIVOS	21
2.1 Objetivo Geral	21
2.2 Objetivos específicos	21
3. HIPOTESES DE TRABALHO	21
REFERÊNCIAS	22
4. ASPECTOS ECOFISIOLÓGICOS DE MUDAS DE <i>Tachigali vulgaris</i> L.G. Silva & H.C. Lima EM FUNÇÃO DE DIFERENTES FONTES E DOSES DE NITROGÊNIO	26
RESUMO	26
ABSTRACT	27
4.1 Introdução	28
4.2 Material e métodos	30
4.2.1 Caracterização e preparo do solo	30
4.2.2 Produção das mudas.....	31
4.2.3 Tratamentos e delineamento experimental.....	31
4.2.4 Avaliações.....	32
4.2.4.1 Altura da planta, diâmetro do coleto e produção de biomassa.....	32
4.2.4.2 Trocas gasosas.....	33
4.2.6 Análise estatística.....	34
4.3 Resultados e discussão	35
4.4 Conclusão	57
REFERÊNCIAS	58
5. RESPOSTA BIOQUÍMICA DE MUDAS DE <i>Tachigali vulgaris</i> L.G. Silva & H.C. Lima EM FUNÇÃO DE FONTES E DOSES DE NITROGÊNIO.	65
RESUMO	65
ABSTRACT	66
5.1 Introdução	67
5.2 Material e métodos	68
5.2.1 Caracterização e preparo do solo	69
5.2.2 Produção das mudas.....	70
5.2.3 Tratamentos e delineamento experimental.....	71

5.2.4 Análises bioquímicas	71
5.2.5 Análise estatística.....	72
5.3 Resultados e discussão	73
5.4 Conclusão.....	93
REFERÊNCIAS.....	94
6. CONCLUSÕES GERAIS.....	103

CRESCIMENTO, RESPOSTA FISIOLÓGICA E BIOQUÍMICA DE MUDAS DE *Tachigali vulgaris* L.G. Silva & H.C. Lima EM FUNÇÃO DE FONTES E DOSES DE NITROGÊNIO

RESUMO

O conhecimento das necessidades nutricionais para produção de mudas é um recurso fundamental para o sucesso de qualquer programa de plantio de espécies florestais. O nitrogênio é o nutriente encontrado em maiores concentrações nos vegetais superiores e vem se mostrando limitante ao crescimento e produção florestal, porém, existem poucos estudos sobre a demanda deste nutriente. Deste modo, o presente trabalho objetivou avaliar os efeitos da aplicação de fontes e doses de nitrogênio no crescimento, trocas gasosas e resposta bioquímica em mudas de *Tachigali vulgaris* L. G. Silva & H. C. Lima. O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal Rural da Amazônia, em Belém, Pará, no período de abril a julho de 2015. As mudas foram cultivadas em vasos contendo 3 dm³ de solo. As fontes de nitrogênio testadas foram ureia [(NH₂)₂CO], sulfato de amônio [(NH₄)₂SO₄], nitrato de amônio (NH₄NO₃) e nitrato de cálcio [Ca(NO₃)₂], em cinco doses de 0, 75, 150, 225 e 300 mg dm⁻³, aplicadas na forma de solução em quatro porções, aos 25, 50, 75 e 100 dias após o transplantio. A unidade experimental foi constituída por um vaso e o delineamento experimental em blocos casualizados (DBC), em esquema fatorial (4 x 5), correspondendo a 4 fontes e 5 doses, com quatro repetições, totalizando 80 vasos. As características morfológicas e suas relações, as trocas gasosas e as respostas bioquímicas foram analisadas ao término do experimento. A maioria das características de crescimento e trocas gasosas das mudas de *T. vulgaris* foram influenciadas positivamente pela adubação nitrogenada. Quanto às fontes de N utilizadas, as maiores médias de altura, diâmetro do coleto e massa de matéria seca de raiz foram obtidos com o nitrato de amônio e nitrato de cálcio. A dose máxima empregada causou efeito negativo sobre os parâmetros morfológicos, prejudicando a qualidade das mudas, para todas as fontes. O menor crescimento das plantas cultivadas exclusivamente N-NH₄⁺ pode estar associado à menor atividade fotossintética dessas plantas, em virtude da ação negativa desse íon sobre a condutância estomática, o que refletiu no menor crescimento e produção de biomassa. A redução na concentração de proteínas com o nitrato de amônio e nitrato de cálcio, pode estar relacionada a formação de espécies reativas de oxigênio (EROs), pelo excesso de NO₃⁻, provocando danos aos fotossistemas pela inibição da síntese de proteínas. O acúmulo de aminoácidos na folha e raiz foi influenciado positivamente pela aplicação de N, ocorrendo a máxima acumulação com a fonte nitrato de amônio, em doses próximas de 225 mg dm⁻³. O crescimento de mudas de *T. vulgaris* é afetado pela presença de ambas as formas de nitrogênio mineral (N-NO₃⁻ e N-NH₄⁺) na adubação, sendo que a combinação das duas formas de N apresentou a maior média da atividade da enzima nitrato redutase e maior incremento do teor de clorofila total, em doses próximas de 225 mg dm⁻³.

Palavras-chave: Espécie florestal. Adubação. Produção de biomassa. Metabolismo.

GROWTH, PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL RESPONSE OF SEEDLINGS OF *Tachigali vulgaris* L.G. Silva & H. C. Lima IN FUNCTION OF SOURCES AND DOSES OF NITROGEN

ABSTRACT

Knowledge of the nutritional requirements for seedling production is a key resource for the success of any planting program of forest species. In this context, nitrogen, among all the nutrients, is found in higher concentrations in higher plants and has proved limiting growth and forest production, however, there are few studies on the demand of this nutrient. Thus, this study aimed to evaluate the effects of applying sources and doses of nitrogen on growth, gas exchange and biochemical response in seedlings *Tachigali vulgaris* L.G. Silva & H.C. Lima. The experiment was conducted in a greenhouse of the Institute of Agricultural Sciences at the Federal Rural University of Amazonia in Belém, Pará, in the period from April to July 2015. The seedlings were grown in pots containing 3 dm⁻³ of soil, in a greenhouse. Nitrogen sources tested were urea [(NH₂)₂CO], ammonium sulfate [(NH₄)₂SO₄], ammonium nitrate (NH₄NO₃) and calcium nitrate [Ca(NO₃)₂], in five doses of 0, 75, 150, 225 and 300 mg dm⁻³, applied as a solution in four portions, 25, 50, 75 and 100 days after transplanting. The experimental unit consisted of a vase and a randomized block design (RBD) in factorial (4 x 5), corresponding to 4 sources and 5 doses, with four repetitions, totaling 80 vessels. The morphological characteristics and their relations, gas exchange and biochemical responses were analyzed at the end of the experiment. Most of the growth characteristics and gas exchange of *T. vulgaris* seedlings were positively influenced by nitrogen fertilization. As for the N sources used, the highest average height, stem diameter and dry weight of root were obtained with ammonium nitrate and calcium nitrate. The maximum dose used caused negative effect on morphological parameters, damaging the quality of seedlings, for all sources. The lower growth of cultivated plants exclusively N-NH₄⁺ may be associated with lower photosynthetic activity of these plants, due to the negative action of this ion on stomatal conductance, which resulted in lower growth and biomass production. The reduction in the concentration of proteins with ammonium nitrate and calcium nitrate, may be related to the formation of reactive oxygen species (ROS), the excess NO₃⁻, causing damage to the photosystems by inhibition of protein synthesis. The accumulation of amino acids in the leaf and root was positively influenced by the application of N, the maximum accumulation occurring with the source ammonium nitrate, in nearby doses of 225 mg dm⁻³. Growth of *T. vulgaris* seedlings is affected by the presence of both forms of mineral nitrogen (NO₃⁻ and NH₄⁺) in the fertilizer, and the combination of both forms of N had the highest average activity of the enzyme nitrate reductase and greater increase in total chlorophyll content, in nearby doses of 225 mg dm⁻³.

Keywords: Forest species. Fertilization. Production of biomass. Metabolism.

1. CONTEXTUALIZAÇÃO

A demanda por produtos de origem florestal, como a madeira e seus derivados, aumentou sensivelmente nas últimas décadas, levando a silvicultura a buscar alternativas que pressupõem alta produtividade (BOLFE et al., 2004). Essa expansão na demanda por produtos florestais tem como consequência direta a necessidade de introduzir, nos programas de reflorestamento no Brasil, espécies de alta produtividade, que permitam reduzir relativamente o ciclo de corte, associada às boas características silviculturais aplicadas, disponibilizando para as mudas uma maior resistência às condições adversas do meio e um menor tempo gasto para a sua completa formação, sendo tais fatores decisivos ao seu êxito (CRUZ et al., 2004).

Dentre as alternativas que buscam o aumento da produtividade, está a necessidade de geração de novas tecnologias de produção de mudas, com um padrão de qualidade adequado, visando o estabelecimento de florestas cada vez mais produtivas (ELOY et al., 2013). A qualidade das mudas produzidas em viveiro é essencial para o sucesso do plantio definitivo, pois essa condição está ligada a um maior potencial de crescimento e sobrevivência, e, conseqüentemente, proporciona a diminuição dos gastos com replantio e tratamentos culturais de manutenção.

Todavia, a utilização de espécies florestais nativas, seja para produção de madeira ou para enriquecimento de matas e recuperação de áreas degradadas, é ainda dificultada, em grande parte, pela carência de informações sobre as exigências nutricionais dessas espécies para produção de mudas e para o estabelecimento e desenvolvimento das plantas no campo (CARPANEZZI et al., 1976).

Para uma adequada recomendação de fertilização, é necessário o bom entendimento da nutrição das mudas e o uso de substratos de cultivo apropriados para cada espécie (GONÇALVES; BENEDETTI, 2000). Geralmente, os solos a serem reflorestados possuem características químicas diferentes que, associadas ao grande número de espécies florestais nativas com comportamentos nutricionais distintos (SIQUEIRA et al., 1998), indicam que a obtenção de informações a respeito das demandas nutricionais e a resposta dessas espécies à fertilização são de fundamental importância (FERNANDES et al., 2000).

A fertilização inadequada do substrato tem sido considerada um dos fatores responsáveis por perdas de mudas e causa de elevada mortalidade das plantas por ocasião do plantio definitivo no campo (TUCCI et al., 2009). Dessa forma, é de fundamental

importância o avanço sobre a nutrição mineral das espécies florestais, notadamente aquelas que apresentam potencial para múltiplos usos, com o intuito de suprir suas necessidades em nutrientes, principalmente nas fases iniciais de crescimento, e permitir que expressem todo o seu potencial produtivo e consigam sucesso no estabelecimento de povoamentos florestais.

O nitrogênio, dentre todos os nutrientes, é o que se encontra em maiores concentrações nos vegetais superiores e vem se mostrando limitante ao crescimento e produção florestal (DATE, 1973; HARDY; HAVELKA, 1975; NAMBIAR, 1989). Pode ser encontrado no solo sob as formas de nitrato, amônio, uréia e compostos orgânicos nitrogenados (RAVEN et al., 1996). Embora o íon nitrato seja a principal forma de nitrogênio inorgânico disponível para as plantas, o íon amônio pode predominar em algumas condições de solos e certos estágios sucessionais (SMIRNOFF e STEWARD, 1985). Como o período de maior desenvolvimento são as primeiras fases da vida da planta, atribuem-se a essas fases o período de maior absorção e metabolização de nitrogênio. A carência desse elemento é considerada um fator deletério a qualquer ecossistema, pois são observadas drásticas reduções nos processos de produção de biomassa (SILVA et al., 2011; TAIZ; ZEIGER, 2013).

O aumento na disponibilidade de nitrogênio normalmente traz como consequência efeitos positivos sobre a taxa de assimilação de carbono, já que esse nutriente faz parte dos principais componentes do sistema fotossintético, tais como clorofilas, carboxilase/oxigenase da ribulose 1,5 bisfosfato (RubisCO) e carboxilase do fosfoenolpiruvato (PEPcase) (CORREIA et al., 2005). Quase sempre existe uma forte associação entre a taxa fotossintética e a concentração de nitrogênio foliar, independentemente se a relação for expressa com base na área ou na matéria seca (EVANS, 1989). Além do efeito sobre a assimilação de carbono, o nitrogênio também pode modular o particionamento de matéria seca entre a raiz e a parte aérea. Diversos autores têm evidenciado que a menor disponibilidade de nitrogênio tende a aumentar o particionamento em direção ao sistema radicular, determinando uma relação raiz:parte aérea maior (RUFTY Jr. et al., 1984; EGHBALL; MARANVILLE, 1993).

As principais entradas de nitrogênio no solo são a matéria orgânica, os fertilizantes industriais, sais de amônio e nitrato trazidos da atmosfera pelas chuvas e a fixação biológica de nitrogênio (REIS et al., 2006). Diferentes fontes de nitrogênio são preferidas pelas plantas, mas absorvem este nutriente principalmente sob fontes inorgânicas como

amônio (NH_4^+) ou nitrato (NO_3^-). O NO_3^- transportado para dentro das células epidérmicas ou do córtex pode ter quatro destinos: sofrer efluxo para o apoplasto ou para o ambiente; entrar no vacúolo e ser armazenado; ser reduzido a NH_4^+ pela ação sequencial das enzimas nitrato redutase (NR) e nitrito redutase (NiR) (GOULART, 2011); ser translocado via simplasto para o xilema da raiz atingindo a parte aérea das plantas. Neste caso, a redução do NO_3^- se dá nas folhas. A destinação do NO_3^- depende da espécie de planta, do estágio do desenvolvimento, do conteúdo de carboidratos, da adaptação ecológica da planta e da concentração externa de NO_3^- .

A redução do NO_3^- é um processo que ocorre em duas etapas. Na primeira delas, catalisada pela nitrato redutase (NR), o NO_3^- é reduzido a NO_2^- com o consumo de elétrons. A fonte de poder redutor para a NR pode ser o NADH ou NAD(P)H, dependendo da isoenzima. Na etapa subsequente, a nitrito redutase (NiR) catalisa a redução NO_2^- a NH_4^+ com um gasto de 6 elétrons fornecidos pela ferredoxina (TAIZ; ZEIGER, 2013).

A NR é uma enzima citoplasmática enquanto que a NiR localiza-se nos cloroplastos de tecidos clorofilados e nos plastídios de tecidos aclorofilados. A redução de NO_3^- em células fotossintéticas pode ser considerada um processo genuinamente fotossintético por consumir poder redutor diretamente do fluxo fotoquímico de elétrons, através de ferredoxina. Em tecidos fotossintéticos no escuro ou aclorofilados como as raízes, o poder redutor necessário para a redução do NO_3^- e do NO_2^- é gerado pela oxidação de carboidratos na via glicolítica e na respiração aeróbia. Uma das características mais interessantes da assimilação do NO_3^- é a sua regulação. Além do próprio NO_3^- , outros fatores como luz, citocianinas, níveis de CO_2 , ritmo circadiano, compostos de carbono e nitrogenados como a sacarose e a glutamina desempenham um papel regulador (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Entretanto, uma grande porção dos fertilizantes nitrogenados aplicados às culturas lixivia para águas subterrâneas ou volatiliza para a atmosfera (CAMERON; HAYNES, 1986), não apenas desperdiçando um recurso valioso, mas também colocando em risco a saúde humana (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1989). Uma nutrição nitrogenada adequada melhora os teores foliares deste e de outros nutrientes, especialmente o fósforo, aumentando, conseqüentemente, o crescimento e a produção de biomassa (CRUZ et al., 2006). Pode ocorrer também o comprometimento do crescimento da planta, quando se utiliza uma fonte inadequada de nitrogênio (GOULART, 2011). O amônio é a fonte preferida de nitrogênio inorgânico de muitas plantas (BLOOM, 1997). Em regiões

temperadas, a maioria das culturas conta com o NO_3^- para conseguir uma porção maior de sua exigência de nitrogênio (HAYNES, 1986), sendo este a principal fonte em ecossistemas temperados. Altos níveis de NH_4^+ são tóxicos tanto para plantas quanto para animais, entretanto, NO_3^- pode ser estocado por plantas em altos níveis e translocado de tecido a tecido, sem efeito deletério (EPSTEIN; BLOOM, 2006). Dessa forma, o estudo dos requerimentos nutricionais das espécies permite aumentar a eficiência com que as plantas obtêm o nitrogênio, evitando o desperdício e constituindo uma necessidade crítica do setor de produção florestal.

A espécie *Tachigali vulgaris* L. G. Silva & H. C. Lima, ex *Sclerolobium paniculatum* Vogel - Fabaceae ocorre na região amazônica até o oeste dos estados da Bahia, Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso, em cerrados e cerradões e possui importância econômica e ambiental (MENDONÇA et al., 2000; MARIMON; LIMA, 2001; SILVA et al., 2002; SAPORETTI JUNIOR et al., 2003). É uma espécie pioneira que frequentemente inicia a sucessão secundária em áreas abertas (CARVALHO, 1994), sendo considerada ideal para o reflorestamento devido à sua alta capacidade de produção de biomassa (FELFILI et al., 1999), rápido crescimento em condições adversas e alta resistência às perturbações ambientais. A madeira produzida pelo *S. paniculatum* tem características similares a madeira de eucalipto, quanto ao poder calorífico e ao rendimento de peso e volume no processo de carbonização (LIMA, 2004), reunindo características promissoras para plantios energéticos, na Amazônia brasileira e regiões limítrofes (CARPANEZZI et al. 1983).

Ao considerar a complexidade e dinamismo dos processos que envolvem a produção florestal, o estudo das necessidades nutricionais da espécie florestal *Tachigali vulgaris* L. G. Silva & H. C. Lima, tem grande contribuição para formação de mudas de qualidade, a partir do entendimento da sua interação com as diferentes fontes de N disponíveis, em maior ou menor quantidade, objetivando a produção de mudas de qualidade superior e o sucesso da utilização da espécie em programas de plantios comerciais e recuperação de áreas alteradas.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O presente trabalho objetivou avaliar os efeitos da aplicação de diferentes fontes e doses de nitrogênio no crescimento, trocas gasosas e resposta bioquímica em mudas de *Tachigali vulgaris* L. G. Silva & H. C. Lima.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar o crescimento em diâmetro, altura, produção de biomassa e trocas gasosas em mudas de *Tachigali vulgaris* L. G. Silva & H. C. Lima submetidas a aplicação de fontes e doses de nitrogênio;

- Avaliar o acúmulo de solutos orgânicos, os teores de pigmentos fotossintéticos e a atividade da enzima nitrato redutase em mudas de *Tachigali vulgaris* L. G. Silva & H. C. Lima submetidas a aplicação de fontes e doses de nitrogênio.

3. HIPOTHESES DE TRABALHO

- As mudas de *Tachigali vulgaris* possuem demandas específicas de N, em relação à presença de N-NH_4^+ e N-NO_3^- no solo após a aplicação de fertilizantes nitrogenados, ocasionando diferença no crescimento e trocas gasosas, para as fontes e doses testadas.

- O acúmulo de solutos orgânicos, os teores de pigmentos fotossintéticos e a atividade da enzima nitrato redutase em mudas de *Tachigali vulgaris* são influenciados pela presença de N-NH_4^+ e N-NO_3^- no solo após a aplicação dos fertilizantes nitrogenados, para as fontes e doses testadas.

REFERÊNCIAS

- BLOOM, A. J. (1997). Nitrogen as a limiting factor: Crop acquisition of ammonium and nitrate. In: Jackson, L. E. (Ed.) *Ecology in Agriculture*. Academic Press, San Diego. p. 145-172.
- BOLFE, E. L.; PEREIRA, R. S.; MADRUGA, P. R. A.; FONSECA, E. L. Avaliação da classificação digital de povoamentos florestais em imagens de satélite através de índices de acurácia. **Revista Árvore**, Viçosa, v.28, n.1, p.85-90, 2004.
- CAMERON, K. C.; R. J. HAYNES (1986). Retention and movement of nitrogen in soils. In: Haynes, R. J. (Ed.). *Mineral Nitrogen in the Plant Soil System*. Academic Press, Orlando. 166-241.
- CARPANEZZI, A. A.; BRITO, J. O.; FERNANDES, P.; JARK FILHO, W. Teor de macro e micronutrientes em folhas de diferentes idades de algumas essências florestais nativas. **Anais da E.S.A. "Luiz de Queiroz"**, Piracicaba, v. 23, p. 225-232, 1976.
- CARPANEZZI, A.A.; MARQUES, L.C.T.; KANASHIRO, M. **Aspectos ecológicos e silviculturais de taxi-branco-da-terra-firme (*Sclerolobium paniculatum* Vogel)**. Curitiba, EMBRAPA-URPFCS, 1983. (EMBRAPA-URPFCS. Circular Técnica, 8).
- CARVALHO, P. E. R. **Espécies florestais brasileiras**. EMBRAPA - CNPF/SPI, Brasília, 1994, p. 476 - 479.
- CORREIA, C. M.; PEREIRA, J. M. M.; COUTINHO, J. F.; BJORN, L. O.; TORRES-PEREIRA, J. M. G. Ultraviolet-B radiation and nitrogen affect the photosynthesis of maize: a Mediterranean field study. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v.22, n.3, p.337-347, 2005.
- CRUZ, C. A. F. e; PAIVA, H. N. de; GUERRERO, C. R. A. Efeito da adubação nitrogenada na produção de mudas de sete-cascas (*Samanea inopinata* (harms) ducke). **Revista Árvore**, Viçosa, v.30, n.4, p.537-546, 2006.
- CRUZ, C. A.; PAIVA, H. N.; GOMES, K. C. O.; GUERRERO, C. R. A. Efeito de diferentes níveis de saturação por bases no desenvolvimento e qualidade de mudas de ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa* (Mart.) Standley). **Scientia Forestalis**, n. 66, n. 2, p. 100 - 107, 2004.
- DATE, R. A. Nitrogen a major limitation in the productivity of natural communities, crops and pastures in the Pacific area. **Soil Biology and Biochemistry**, v.5, n.1, p.5-18, 1973.

EGHBALL, B.; MARANVILLE, J.W. Root development and nitrogen influx of corn genotypes grown under combined drought and nitrogen stresses. **Agronomy Journal**, Madison, v. 85, n.1, p.147-152, 1993.

ELOY, E.; CARON, B. O.; SCHMIDT, D.; BEHLING, A.; SCHWERS, L.; ELLI, E. F. Avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis* utilizando parâmetros morfológicos. **FLORESTA**, Curitiba, v. 43, n. 3, p. 373-384, 2013.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Londrina, Ed. Planta, 2006. 401p.

EVANS, J. R. Photosynthesis and nitrogen relationship in leaves of C3 plants. **Oecologia**, Berlim, v.78, n.1, p.9-19, 1989.

FELFILI, J. M.; SILVA JÚNIOR, M. C. Distribuição dos diâmetros numa faixa de Cerrado na fazenda Água Limpa (FAL) em Brasília - DF. **Acta Botânica**, Brasília, v.2, n. (1 - 2), p. 85 - 104, 1988.

FERNANDES, L. A.; FURTINI NETO, A. E.; FONSECA, F. C.; VALE, F. R. do. Crescimento inicial, níveis críticos de fósforo e frações fosfatadas em espécies florestais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 6, p. 1191-1198, 2000.

GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000, 427 p.

GOULART, L. M. L. **Crescimento e qualidade de mudas de ipê-amarelo (*Tabebuia serratifolia* (Vahl) Nich.), em resposta à fontes e doses de nitrogênio**. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). 2011. 83 p. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2011.

HARDY, R. W. F.; HAVELKA, V. P. Nitrogen fixation research: a key to world food? **Science**, New York, v. 188, p. 633-643, 1975.

HAYNES, R. J. (1986). Uptake and assimilation of mineral nitrogen by plants. In: Haynes, R. J. (Ed.) **Mineral Nitrogen in the Plant Soil System**. Academic Press, Orlando, FL. p.303-378.

MARIMON, B. S.; LIMA, E. de S. Caracterização fitofisionômica e levantamento florístico preliminar no Pantanal dos Rios Mortes-Araguaia, Cocalinho, Mato Grosso, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, São Paulo, v. 15, n. 2, p. 213-229, 2001.

MENDONÇA, R. C. de; FELFILI, J. M.; FAGG, C. W.; SILVA, M. A. da; FILGUEIRAS, T. S.; WALTER, B. M. T. Florística da Região do Espigão Mestre do São

Francisco, Bahia e Minas Gerais. **Boletim do Herbário Ezechias Paulo Heringer**, Brasília, DF, v. 6, p. 38-94, 2000.

NAMBIAR, E. K. S. Plantation forests: their scope and perspective on plantation nutrition. In: BOWER, G.D.; NAMBIAR, E.K.S. (Eds.). **Nutrition of plantation forest**. London: Academic Press, 1989, p.1-15.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1989). *Alternative Agriculture*. National Academy Press, Washington D. C.

PALLARDYS, S. G. Capítulo 9 – **Nitrogen metabolism**. In: Pallardys, S.G. (Ed.). *Physiology of woody plants*. 3.ed. San Diego: Academic Press, 2008. p.233-254.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia Vegetal**. 5 ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan S.A., 1996, 728 p.

REIS, A. M.; OLIVEIRA, A. L. M.; BALDANI, V. L. D.; OLIVARES, F. L.; BALDANI, J. I. Fixação biológica de nitrogênio simbiótica e associativa. In: FERNANDES, M. S. (ed.). *Nutrição mineral de plantas*. Viçosa, MG: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2006, p. 153-174.

RUFTY Jr., T. W.; RAPER Jr., C. D.; HUBER, S. C. Alterations in internal partitioning of carbon in soybean plants in response to nitrogen stress. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v. 62, n. 4, p. 501-508, 1984.

SAPORETTI JUNIOR, A. W.; MEIRA NETO, J. A. A.; ALMADO, R. de P. Fitossociologia de Cerrado *sensu stricto* no Município de Abaeté-MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 413-419, 2003.

SILVA, E. C., NOGUEIRA, R. J. M. C.; SILVA, M. A.; ALBUQUERQUE, M. B. Drought Stress and Plant Nutrition. **Plant Stress**, v. 5, (Special Issue 1), p. 32- 41, 2011.

SILVA, L. O.; COSTA, D. A.; SANTO FILHO, K. do E.; FERREIRA, H. D.; BRANDÃO, D. Levantamento florístico e fitossociológico em duas áreas de Cerrado *sensu stricto* no Parque Estadual da Serra de Caldas Novas, Goiás. **Acta Botanica Brasilica**, São Paulo, v. 16, n. 1, p. 43-53, 2002.

SIQUEIRA, J. O.; CARNEIRO, M. A. C.; CURI, N.; ROSADO, S. C. S.; DAVIDE, A. C. Mycorrhizal colonization and mycotrophic growth of native woody species as related to successional groups in Southeastern Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 107, n.1-3, p. 241-252, 1998.

SMIRNOFF, N.; STEWARD, G. R. Nitrate assimilation and translocation by higher plants: comparative physiology and ecological consequences. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 64, n. 2, p.133-140, 1985.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**, 5.ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 954 p.

TERCE-LAFORGUE, T.; GISELA, M.; HIREL, B. New insights towards the function of glutamate dehydrogenase revealed during source-sink transition of tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) plants grown under different nitrogen regimes. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 120, n. 2, p. 220-228, 2004.

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. 289-294, 2009.

4. ASPECTOS ECOFISIOLÓGICOS DE MUDAS DE *Tachigali vulgaris* L.G. SILVA & H.C. LIMA EM FUNÇÃO DE FONTES E DOSES DE NITROGÊNIO

RESUMO

O presente trabalho objetivou avaliar os efeitos da aplicação de fontes e doses crescentes de nitrogênio no crescimento e trocas gasosas em mudas de *Tachigali vulgaris* L.G. Silva & H.C. Lima. O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal Rural da Amazônia, em Belém, Pará, no período de abril a julho de 2015. As mudas foram cultivadas em vasos contendo 3 dm³ de solo, em casa de vegetação. As fontes de nitrogênio testadas foram ureia [(NH₂)₂CO], nitrato de amônio (NH₄NO₃), sulfato de amônio [(NH₄)₂SO₄] e nitrato de cálcio [Ca(NO₃)₂], em cinco doses de 0, 75, 150, 225 e 300 mg/dm³, aplicadas na forma de solução em quatro porções, aos 25, 50, 75 e 100 dias após o transplante. A unidade experimental foi constituída por um vaso e o delineamento experimental em blocos casualizados (DBC), em esquema fatorial (4 x 5), correspondendo a 4 fontes e 5 doses, com quatro repetições, totalizando 80 vasos. As características morfológicas, suas relações para determinação dos índices de qualidade das mudas e as respostas fisiológicas foram analisadas ao término do experimento. A maioria das características de crescimento e trocas gasosas das mudas de *T. vulgaris* foram influenciadas positivamente pela adubação nitrogenada. Quanto às fontes de N utilizadas, as maiores médias de altura, diâmetro do coleto e massa de matéria seca de raiz foram obtidos com o nitrato de amônio e nitrato de cálcio. A dose máxima empregada causou efeito negativo sobre os parâmetros morfológicos, prejudicando a qualidade das mudas, para todas as fontes. O menor crescimento das plantas cultivadas exclusivamente N-NH₄⁺ pode estar associado à menor atividade fotossintética dessas plantas, em virtude da ação negativa desse íon sobre a condutância estomática, o que refletiu no menor crescimento e produção de biomassa.

Palavras-chave: Fertilização mineral. Espécie florestal. Trocas gasosas.

ECOPHYSIOLOGICAL ASPECTS OF SEEDLINGS OF *Tachigali vulgaris* L. G. Silva & H. C. Lima IN FUNCTION OF SOURCES AND DOSES OF NITROGEN

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the effects of applying different sources and increasing levels of nitrogen on growth and gas exchange in seedlings of *Tachigali vulgaris* L.G. Silva & H.C. Lima. The experiment was conducted in a greenhouse of the Institute of Agricultural Sciences at the Federal Rural University of Amazonia in Belém, Pará, in the period from April to July 2015. The seedlings were grown in pots containing 3 dm³ of soil, in a greenhouse. Nitrogen sources tested were urea [(NH₂)₂CO], ammonium nitrate (NH₄NO₃), ammonium sulfate [(NH₄)₂SO₄] and calcium nitrate [Ca(NO₃)₂], in five doses of 0, 75, 150, 225 and 300 mg / dm, applied as a solution in four portions, 25, 50, 75 and 100 days after transplanting. The experimental unit consisted of a vase and a randomized block design (RBD) in factorial (4 x 5), corresponding to 4 sources and 5 doses, with four repetitions, totaling 80 vessels. The morphological characteristics, their relationships to determine the quality indices of the seedlings and the physiological responses were analyzed at the end of the experiment. Most of the growth characteristics and gas exchange of *T. vulgaris* seedlings were positively influenced by nitrogen fertilization. As for the N sources used, the highest average height, stem diameter and dry weight of root were obtained with ammonium nitrate and calcium nitrate. The maximum dose used caused negative effect on morphological parameters, damaging the quality of seedlings, for all sources. The lower growth of cultivated plants exclusively N-NH₄ + may be associated with lower photosynthetic activity of these plants, due to the negative action of this ion on stomatal conductance, which resulted in lower growth and biomass production.

Keywords: Mineral fertilization. Forest species. Gas exchange.

4.1 Introdução

O Tachi-branco (*Tachigali vulgaris*, Leguminosae Caesalpinioideae) é uma espécie que reúne características promissoras para plantios energéticos, na Amazônia brasileira e regiões limítrofes (CARPANEZZI et al., 1983). Embora as informações disponíveis sejam escassas, sua madeira é considerada de boas características para lenha e carvão (LE COINTE, 1947; DUCKE, 1949). As árvores adultas dessa espécie não atingem grandes dimensões, variando entre 20 a 30 m de altura total e 70 a 100 cm de diâmetro na altura do peito (DAP) (CARPANEZZI et al., 1983).

De acordo com OLIVEIRA JÚNIOR (1997), *Tachigali vulgaris*, além de possuir rápido crescimento, apresenta elevada desrama de folhas, o que possibilita uma rápida formação de “litter”, que é mais uma característica que lhe fornece grande potencial para a recuperação de áreas e programas de reflorestamentos. Em estudo realizado por MOCHITUTTI et al. (1999), ao compararem áreas sob plantio de *Tachigali vulgaris* e capoeira, observaram maior teor de cálcio, magnésio e fósforo na área com taxi-branco, demonstrando a capacidade de translocação dos nutrientes das camadas mais profundas para a superfície do solo, importante função na recuperação de áreas degradadas.

A demanda por produtos de origem florestal, como a madeira e seus derivados, aumentou sensivelmente nas últimas décadas, levando a silvicultura a buscar alternativas que pressupõem alta produtividade (BOLFE et al., 2004). Dentre as alternativas que buscam o aumento da produtividade, está a necessidade de geração de novas tecnologias de produção de mudas, com um padrão de qualidade adequado, visando o estabelecimento de florestas cada vez mais produtivas (ELOY et al., 2013).

Geralmente, os solos a serem reflorestados possuem características químicas diferentes que, associadas ao grande número de espécies florestais nativas com comportamentos nutricionais distintos (SIQUEIRA et al., 1998), indicam que a obtenção de informações a respeito das demandas nutricionais e a resposta dessas espécies à fertilização são de fundamental importância (FERNANDES et al., 2000). A adubação é um dos vários fatores que influenciam na produção das culturas, sendo que dentre os adubos utilizados o nitrogênio é um dos mais complicado de ser manejado, devido a sua alta exigência nos estádios do desenvolvimento vegetativo e reprodutivo das culturas e também a perda por lixiviação (SANTOS, 2011).

O nitrogênio (N) é um elemento essencial ao metabolismo das plantas e sua deficiência é uma das limitações mais comuns para o desenvolvimento vegetal (PALLARDYS, 2008). Segundo RAVEN et al. (2007), o nitrogênio é o principal componente de aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, fitocromos, clorofilas e coenzimas. A preferência das plantas pela fonte de N pode variar conforme as pressões seletivas e consequentes adaptações fisiológicas (TERCE-LAFORGUE et al., 2004). A carência desse elemento é considerada um fator deletério a qualquer ecossistema, pois são observadas drásticas reduções nos processos de produção de biomassa (SILVA et al., 2011; TAIZ; ZEIGER, 2013).

O fornecimento de nitrogênio para as plantas geralmente é feito utilizando fertilizantes como ureia, sulfato de amônio ou nitratos (cálcio, potássio e amônio). Segundo Scivittaro et al. (2004), a ureia destaca-se entre as fontes comerciais de nitrogênio devido ao seu menor custo por unidade de N, alta solubilidade e compatibilidade para uso em mistura com outros fertilizantes, entretanto é bastante suscetível a perdas por volatilização de amônia e tem efeito acidificante ao substrato. Outra fonte comercial de nitrogênio, o sulfato de amônio, praticamente não apresenta perdas de N por volatilização (<1%) após a aplicação (ANJOS; TEDESCO, 1976), porém causa uma rápida queda no pH do solo, inibindo a nitrificação (STRONG et al., 1997) e possibilitando a permanência por mais tempo do N na forma amoniacal, menos sujeita à lixiviação. Por fim, entre as fontes de nitrogênio encontram-se também, o nitrato de amônio que, por apresentar elevado custo por unidade de N, normalmente é menos utilizado nas adubações (FRÁGUAS et al., 2003) e o nitrato de cálcio $[Ca(NO_3)_2]$, que é muito usado na Europa como fertilizante, sendo o diferencial o teor de Cálcio que favorece a manutenção de um pH desejável ao solo (TROEH; THOMPSON, 2005). Apesar da importância do nitrogênio, de acordo com DAVIES (2000), são poucos os estudos em plantas envolvendo este elemento químico, ainda mais quando levamos em consideração espécies florestais nativas da Amazônia.

Diante do exposto, o presente trabalho objetivou avaliar os efeitos da aplicação de fontes e doses crescentes de nitrogênio no crescimento e trocas gasosas em mudas de *Tachigali vulgaris*.

4.2 Material e métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal Rural da Amazônia, em Belém, Pará, no período de abril a julho de 2015. Diariamente, foram tomadas medidas da temperatura do ar (Tar) e umidade relativa do ar (UR %) no interior da casa de vegetação com um termohigrômetro, e posteriormente calculado o Déficit de Pressão de Vapor do ar (DPV), segundo Vianello e Alves (1991).

4.2.1 Caracterização e preparo do solo

O solo utilizado como substrato, do tipo Latossolo Amarelo, foi caracterizado quimicamente (Tabela 1), através de análise realizada pelo Instituto Brasileiro de Análises (IBRA).

Tabela 1. Resultado da análise química do substrato utilizado no experimento, antes da correção.

Identificação	P	MO	pH	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB	T	V	m
	mg dm ⁻³	g dm ⁻³	CaCl ₂				mmolc dm ⁻³				%	%
Substrato	8,7	29	3,8	0,5	2	1	49	14	4,3	53,3	8	76,5

O solo utilizado como substrato foi seco ao ar, peneirado em malha de 5 mm e efetuada a correção da acidez, utilizando-se uma mistura de CaCO₃ e MgCO₃, na relação estequiométrica de 4:1. A necessidade de calagem foi calculada com base na análise química do solo, presente da tabela 1, com o objetivo de elevar a saturação por bases a 60%. Após incorporação do corretivo, as amostras de solo foram acondicionadas em sacos plásticos mantidos abertos e incubadas por um período de 30 dias, visando manter o teor de umidade das amostras à capacidade de campo.

Após 30 dias, os solos receberam adubação básica de macronutrientes via solução, nas seguintes doses: P = 300 mg/dm³, K = 100 mg/dm³ e S = 40 mg/dm³, tendo como fontes NaH₂PO₄.H₂O, KCl e K₂SO₄ conforme sugerido por PASSOS (1994). E ainda, uma solução de micronutrientes, nas seguintes doses: B = 0,81 mg dm⁻³ (H₃BO₃), Cu = 1,33 mg dm⁻³ (CuSO₄.5H₂O), Mo = 0,15 mg dm⁻³ [(NH₄)₆Mo₇O₂₄.4H₂O], Mn = 3,66 mg

dm^{-3} ($\text{MnCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) e $\text{Zn} = 4,0 \text{ mg dm}^{-3}$ ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) (ALVAREZ et al., 2006). Após isso, o substrato foi acondicionado em vasos plásticos, com capacidade de $3 \text{ dm}^3/\text{vaso}$.

4.2.2 Produção das mudas

As sementes de Taxi-branco (*Tachigali vulgaris*) foram obtidas no setor de sementes florestais da Embrapa Amazônia Oriental, colhidas em matrizes localizadas no município de Paragominas-PA ($2^\circ 59' 51''\text{S}$; $47^\circ 21' 13''\text{W}$) e colocadas para germinar em sementeiras, com areia lavada como substrato.

A espécie apresenta dormência tegumentar, dessa forma, é necessária a aplicação de tratamento pré-germinativo para promover, acelerar e uniformizar a germinação das sementes da espécie. Para superar a dormência, foi realizada a remoção de uma pequena porção do tegumento na extremidade oposta ao eixo embrionário (desponte), para facilitar o processo de embebição da semente e assim dar início a germinação

Após 30 dias do início da germinação, foram transplantadas 2 plântulas por vaso, com capacidade de 3 dm^3 de solo. Decorridos mais 30 dias, um desbaste foi realizado, deixando-se apenas uma planta por vaso.

4.2.3 Tratamentos e delineamento experimental

As fontes de nitrogênio testadas foram ureia [$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$], que possui 45% de N; sulfato de amônio [$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$], que possui 21% de N e 23% de enxofre; nitrato de amônio (NH_4NO_3), que possui 33,5% de N, metade na forma nítrica e metade na amoniacal; e nitrato de cálcio [$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$], que possui 15,5% de N e 19% de cálcio. Os fertilizantes foram aplicados em cinco doses de 0, 75, 150, 225 e 300 mg dm^{-3} de N, na forma de solução e em quatro porções iguais, aos 25, 50, 75 e 100 dias após o transplante para os vasos.

A unidade experimental foi constituída por um vaso, contendo 3 dm^3 de solo, com uma muda. O delineamento experimental adotado constitui-se em blocos casualizados (DBC), em esquema fatorial (4 x 5), correspondendo a 4 fontes de nitrogênio e 5 doses, com quatro repetições, totalizando 80 vasos.

As características morfológicas, e suas relações para determinação dos índices de qualidade das mudas (GOMES, 2001), bem como as respostas fisiológicas, foram analisadas ao término do experimento, 100 dias após o início dos tratamentos.

4.2.4 Avaliações

4.2.4.1 Altura da planta, diâmetro do coleto e produção de biomassa

A altura da parte aérea (H; cm) foi obtida com uma régua milimetrada, medindo a distância entre o nível do solo, na região do colo da planta, e a inserção do último par de folhas expandidas e o diâmetro do coleto (DC; mm) foi determinado com um paquímetro digital, na região do caule ao nível do substrato. Após a determinação da altura da parte aérea e diâmetro do coleto, o sistema radicular foi separado da parte aérea e lavado em água corrente com auxílio de uma peneira com malha de 4 mm, para separação das impurezas.

A massa de matéria seca da parte aérea (MSPA) e a massa de matéria seca das raízes (MSR) foram determinados após secagem do material vegetal em estufa com circulação de ar forçada, a 60°C, até peso constante. Com a soma da massa da matéria seca da parte aérea (MSPA) e das raízes (MSR), obteve-se a massa de matéria seca total (MST).

A relação altura da parte aérea/diâmetro do coleto (RHDC), a relação altura da parte aérea/massa de matéria seca da parte aérea (RHMSPA) e a relação massa de matéria seca da parte aérea/massa de matéria seca das raízes (RMSPAR) foi determinada pelo quociente entre as características envolvidas na relação.

Para avaliação final da qualidade das mudas foi calculado o Índice de Qualidade de Dickson (IQD) segundo equação proposta por Dickson et al. (1960). Esta variável é utilizada principalmente para avaliar a qualidade de mudas de espécies florestais, como eucalipto, pinus, paricá, entre outras. O IQD foi obtido em função das variáveis H, DC, MST, MSPA e MSR, mediante a seguinte equação:

$$IQD = \frac{MST (g)}{H (cm)/DC (mm) + MSPA(g)/MSR(g)}$$

4.2.4.2 Trocas gasosas

Medições pontuais de trocas gasosas foram realizadas ao término do experimento, 125 dias após o início dos tratamentos, no período compreendido entre 9 e 11 horas, em folhas totalmente expandidas e completamente maduras com um analisador de gás a infravermelho (Infrared gas analyzer - IRGA), modelo Li-6400 (Li-Cor, Biosciences Inc., Nebraska, EUA). A radiação fotossinteticamente ativa (RFA), o CO₂ atmosférico no interior da câmara foliar e a temperatura do bloco da câmara foram mantidos constantes durante as medições, com valores de 1000 $\mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, 380 a 400 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e 26 a 27 °C, respectivamente. Foi utilizada, acoplada ao IRGA, uma fonte de radiação artificial (ADC BioScientific Ltd., Hoddesdon, UK), para manutenção constante da quantidade de f\u00f3tons. O ar de refer\u00eancia foi coletado a aproximadamente 2 m de altura do solo e homogeneizado em um gal\u00e3o de 5 L antes de alcan\u00e7ar a câmara de assimila\u00e7\u00e3o.

A taxa fotossint\u00e9tica l\u00edquida por unidade de \u00e1rea foliar (A , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), a condut\u00e2ncia estom\u00e1tica ao vapor d'\u00e1gua (g_s , $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), a taxa transpirat\u00f3ria (E , $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e a concentra\u00e7\u00e3o interna de CO₂ (C_i , $\mu\text{mol.CO}_2.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$), foram calculadas usando os valores das varia\u00e7\u00f5es das concentra\u00e7\u00f5es de CO₂ e de vapor de H₂O no interior da câmara, medidos pelo analisador de gases por infravermelho do sistema port\u00e1til de fotoss\u00edntese. Atrav\u00e9s dos valores de A , E , g_s e C_i foram calculadas as seguintes rela\u00e7\u00f5es: $EUA = A/E$ e $\Phi_c = A/C_i$ (ZHANG et al., 2001), em que EUA significa efici\u00eancia do uso de \u00e1gua e Φ_c efici\u00eancia instant\u00e2nea de carboxila\u00e7\u00e3o.

4.2.5 Dose de m\u00e1xima efici\u00eancia t\u00e9cnica (DMET)

A dose de m\u00e1xima efici\u00eancia t\u00e9cnica (DMET) foi calculada a partir da equa\u00e7\u00e3o das caracter\u00edsticas quantitativas (H , DC , $PMSPA$, $PMSR$, $PMST$, A , E , g_s e C_i) em fun\u00e7\u00e3o das doses de N aplicadas, para as fontes que apresentaram efeito significativo para o ajuste do modelo de regress\u00e3o. Para o c\u00e1lculo da DMET, foi utilizada a equa\u00e7\u00e3o de regress\u00e3o ajustada para cada vari\u00e1vel em fun\u00e7\u00e3o da dose de N, igualando-se a derivada da fun\u00e7\u00e3o a zero (FREITAS et al., 2008).

4.2.6 Análise estatística

Inicialmente, os dados do experimento foram submetidos aos testes de Shapiro-Wilks (SHAPIRO; WILKS, 1965) e de Levene (BOX, 1953) para verificação da normalidade dos dados e homocedasticidade dos resíduos, respectivamente. Posteriormente, havendo atendimento as pressuposições de normalidade e homocedasticidade dos dados, realizou-se a análise de variância para as médias dos tratamentos ($p < 0,05$) (STEEL; TORRIE, 1960).

Foi realizada a análise de variância e, em função da significância do teste F para a interação dos fatores Fontes x Doses de nitrogênio, foram realizados os desdobramentos para avaliar o efeito das doses (quantitativo) dentro de cada fonte de nitrogênio (qualitativo), por meio de regressões polinomiais de primeiro e segundo grau. Também foi realizado o teste de médias (Teste de Tukey), para comparar o efeito principal das fontes de N. O estudo dos efeitos das doses de nitrogênio, nos casos em que não houve interação significativa dos fatores ($p > 0,05$), foi realizado por meio de regressões polinomiais de primeiro e segundo grau. Foi utilizado o nível de significância de 5% em todos os testes estatísticos. Na escolha das equações de regressão, considerou-se a significância dos coeficientes e o coeficiente de determinação (R^2). As análises foram realizadas com auxílio dos *softwares* estatísticos Minitab 14® e Action.

4.3 Resultados e discussão

Os dados das medidas da temperatura do ar (Tar), umidade relativa do ar (UR %) e Déficit de Pressão de Vapor do ar (DPV), no interior da casa de vegetação, no período do experimento, podem ser visualizados nas figuras 1A, 1B e 1C.

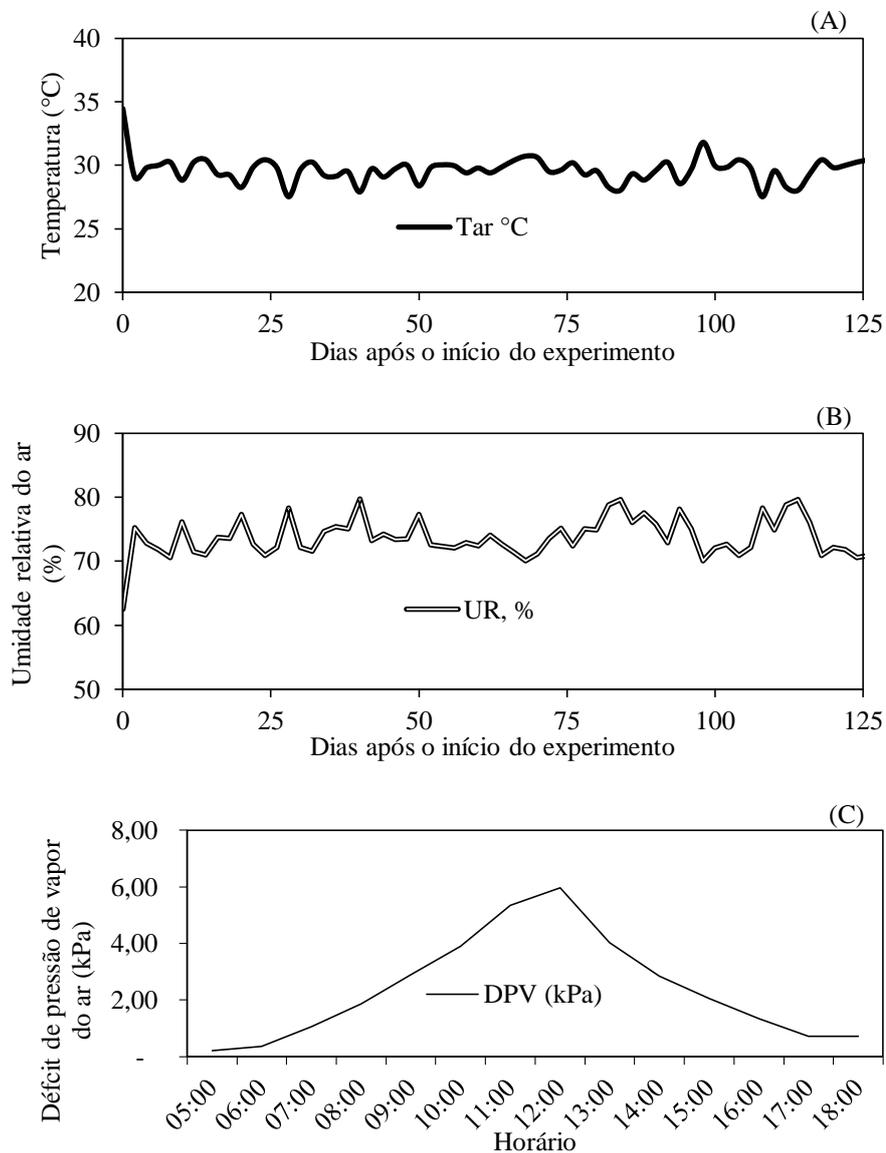


Figura 1. Valores médios de temperatura (A) e umidade relativa do ar (B), ocorridas durante o período experimental, e déficit de pressão de vapor do ar (C), dentro da casa de vegetação.

A aplicação dos tratamentos, correspondentes a quatro diferentes fontes de nitrogênio em doses crescentes, proporcionou ganhos ou afetou, de forma significativa, o crescimento de mudas de *T. vulgaris*, confirmando o efeito do N na produção vegetal da

espécie de estudo, sendo que a não adição de N ou a adição em doses elevadas, foi considerada limitante para o desenvolvimento das mudas no período de avaliação.

Ao término do experimento, pode-se observar pelo resumo da análise de variância (Tabela 2), que houve efeito significativo dos fatores fonte e dose de N ($p \leq 0,05$), além da interação dos fatores (F x D), para todas as características morfológicas e relações estudadas.

Tabela 2. Resumo da análise de variância das variáveis morfológicas altura da parte aérea (H), diâmetro de coleto (DC), massa de matéria seca da parte aérea (MSPA), massa de matéria seca de raiz (MSR), massa de matéria seca total (MST), relação entre a altura e diâmetro de coleto (RHDC), relação entre a altura e massa de matéria seca da parte aérea (RHMSPA), relação entre o peso de matéria seca da parte aérea e a raiz (RMSPAR) e índice de qualidade de Dickson (IQD), na produção mudas de *T. vulgaris* submetidas aos tratamentos.

FV	GL	Quadrado Médio								
		H	DC	MSPA	MSR	MST	RHDC	RHMSPA	RMSPAR	IQD
Bloco	3	2,12 ^{ns}	1,36 ^{ns}	0,75 ^{ns}	1,28 ^{ns}	1,01 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,96 ^{ns}	0,19 ^{ns}	1,24 ^{ns}
Fonte (F)	3	51,66*	6,64*	1,21*	6,71*	2,24*	16,19*	3,69*	5,48*	3,67*
Dose (D)	4	19,86*	21,45*	36,28*	8,74*	35,01*	1,42*	10,23*	7,63*	16,50*
F x D	12	6,13*	4,38*	2,35*	2,03*	2,36*	2,72*	4,81*	3,11*	2,14*
Resíduo	57	9,03	0,3373	11,4	0,815	14,88	0,5282	1,055	2,647	0,194
CV (%)		24,53	19,77	48,95	48,28	46,15	17,95	54,29	42,77	45,98

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

^{ns} Não-significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste F.

Para a altura da parte aérea (H), em relação ao efeito principal das fontes de N, ureia e sulfato de amônio apresentaram médias iguais estatisticamente pelo teste de Tukey, sendo os valores encontrados para essas duas fontes os menores do experimento, de 21,65 cm e 23,35 cm, respectivamente. As médias de H das fontes nitrato de amônio e nitrato de cálcio foram as maiores e iguais estatisticamente, sendo elas 29,5 cm e 31,75, respectivamente. Através da análise de regressão, para associar o efeito das doses de N, apenas a aplicação do fertilizante nitrato de cálcio não proporcionou efeito significativo para H, sendo que as demais fontes, ureia, nitrato de amônio e o sulfato de amônio, ocasionaram efeito quadrático das doses de N sobre H, resultando no decréscimo da curva próximo das maiores doses de N (Figura 2), o que pôde ser visualizado a partir do desdobramento da interação. A dose de máxima eficiência de N para as fontes ureia,

sulfato de amônio e nitrato de amônio, foi de 97,5 (23,4 cm), 48 (25,2 cm) e 173,3 mg dm⁻³ de N (31,5 cm), respectivamente.

Freiberger (2012), avaliando mudas de *Jatropha curcas* L. sob fertilização com doses crescentes de N, encontrou um modelo exponencial, cuja dose adequada para H foi estimada em 44,3 mg dm⁻³ N, utilizando com fonte a ureia. Em outros trabalhos, que também avaliaram a resposta de espécies florestais frente a doses crescentes de N, Vieira et al. (2006) e Marques et al. (2006) com mudas de *Schizolobium parahyba* utilizando a ureia e *Mimosa caesalpiniaefolia* utilizando o sulfato de amônio, o modelo melhor ajustado foi o linear, com efeito positivo, sendo as melhores doses de 100 mg dm⁻³ para a primeira espécie e 176 mg dm⁻³ para a segunda espécie.

É possível observar através da Figura 2, que as mudas de *T. vulgaris* submetidas a adição das fontes de nitrogênio mineral fornecedoras da maior parte de N-NH₄⁺ (ureia e sulfato de amônio), foram pouco influenciadas pelas doses de N para o crescimento em H, apresentando decréscimo na curva de crescimento a partir das doses mais baixas. Resultados semelhantes foram encontrados por Nicoloso et al. (2005), estudando a nutrição com N de mudas de *Apuleia leiocarpa*, em que o fornecimento de N na forma N-NH₄⁺ proporcionou redução no número de nós do caule, altura de planta, diâmetro do caule, matéria seca da folha, do caule, de raízes e total da planta, em detrimento à presença de N na forma N-NO₃⁻. Ainda, segundo esse mesmo autor, a nutrição com N-NH₄⁺ tende a acidificar o citosol das células radiculares e a rizosfera. Espécies podem promover adaptações fisiológicas a esses processos, como foi observado por Schubert et al. (1990) em plantas de *Zea mays*. Esses processos requerem uma adaptação da enzima H⁺-ATPase e das propriedades de transporte que são essenciais para evitar a acidificação citoplásmica de longa duração e os distúrbios metabólicos relacionados (SCHUBERT; YAN, 1997). Dessa forma, a diferença de crescimento em H, para as fontes estudadas, pode indicar que as mudas de *T. vulgaris* não apresentaram, em parte, as adaptações requeridas para superar os problemas advindos da alta concentração de N-NH₄⁺.

Em estudo realizado por Ferrari et al. (2015), a aplicação de sulfato de amônio causou a acidificação do solo, afetou a distribuição e aumentou a lixiviação de Ca e Mg, bem como contribuiu para o aumento da acidez trocável, efeito causado pela liberação de prótons durante a nitrificação do amônio, que ocorre com a utilização de fertilizantes fornecedores de N-NH₄⁺. Resultados semelhantes também foram obtidos por Delbem et al. (2011), onde o sulfato de amônio, sobretudo em elevadas doses, foi negativo aos

parâmetros microbiológicos, reduzindo a biomassa microbiana e aumentando do quociente metabólico. Esse quociente tem sido usado como indicador de estresse da biomassa microbiana, porque expressa a eficiência metabólica com que os microrganismos mantêm a sua biomassa (MONTEIRO; GAMA-RODRIGUES, 2004). Esses resultados demonstram que a aplicação de sulfato de amônio pode ter exercido efeitos negativos ao solo, e conseqüentemente a planta, o que explica a diferença de crescimento entre as fontes fornecedoras em maior quantidade de $N-NH_4^+$.

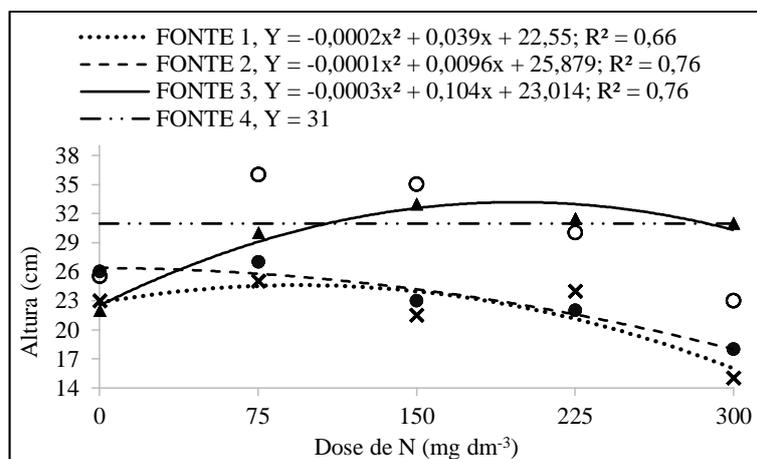


Figura 2. Altura da parte aérea (H) de mudas de *T. vulgaris* em resposta às doses de nitrogênio, para quatro fontes testadas (FONTE 1 = ureia; FONTE 2 = sulfato de amônio; FONTE 3 = nitrato de amônio e FONTE 4 = nitrato de cálcio), ao final do experimento ($\alpha = 0,05$).

Para o diâmetro do coleto (DC), verificou-se efeito significativo para a interação dos fatores (F x D) (Tabela 2), obtendo-se para as fontes ureia, sulfato de amônio e nitrato de cálcio, um efeito quadrático das doses aplicadas (Figura 3). As doses de N do nitrato de amônio não apresentaram resposta significativa sobre DC para o ajuste do modelo de regressão ($p > 0,05$). As doses de máxima eficiência de ureia, sulfato de amônio e nitrato de cálcio corresponderam a 63,75 (5,20 mm), 103,75 (5,43 mm) e 101,25 $mg\ dm^{-3}$ de N (6,12 mm), respectivamente. Em relação ao efeito principal das fontes, a maior média de DC do experimento foi obtida nas mudas fertilizadas com nitrato de amônio (5,31 mm), seguido por nitrato de cálcio (5,01 mm) e sulfato de amônio (4,64 mm), estas duas iguais entre si estatisticamente, e, por fim, com a menor média do experimento o tratamento com ureia (4,51 mm), pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Em mudas de *Senna macranthera*, o efeito da adição de nitrogênio foi linear e crescente para o diâmetro do coleto (CRUZ et al., 2010). Para a espécie *Piptadenia gonoacantha* J.F. Macbr., quanto ao efeito das doses aplicadas sobre o DC, constatou-se, por meio de modelo quadrático, que o ponto de máximo crescimento (5,64 mm) foi obtido

com a aplicação de 151 mg dm^{-3} de N, independentemente da fonte, pois não houve interação dos fatores fontes x doses, assim, ao analisar o efeito principal das fontes, a maior média do DC ($5,4 \text{ mm}$) foi encontrada com a aplicação do sulfato de amônio (MARQUES et al., 2009)

Em estudo de Cruz et al. (2006), com mudas da espécie *Samanea inopinata* (Harms) Ducke, sob adubação com N utilizando-se o sulfato de amônio, a análise de regressão dos dados apontou que houve resposta quadrática à aplicação do fertilizante ao substrato, tendo o ponto de máximo diâmetro do coleto sido atingido quando da aplicação de $1,23 \text{ g}$ de sulfato de amônio por muda.

De acordo com Tucci et al. (2009), avaliando a adubação nitrogenada na produção de mudas de mogno (*Swietenia macrophylla* King), utilizando como fonte a ureia, não houve efeito dos tratamentos no DC, em comparação a ausência de fertilização, entretanto observaram efeitos negativos da adubação nitrogenada na maior dose avaliada (240 g N ton^{-1}), sendo o crescimento do diâmetro do caule, estatisticamente, inferior ao crescimento observado na dose de 80 g N ton^{-1} . Esses resultados corroboram em parte com os encontrados do presente trabalho, em que o ajuste quadrático do efeito das doses para as fontes possibilitou observar o efeito negativo das maiores doses (225 e 300 mg dm^{-3} de N) para o crescimento em diâmetro das mudas de *T. vulgaris* (Figura 3).

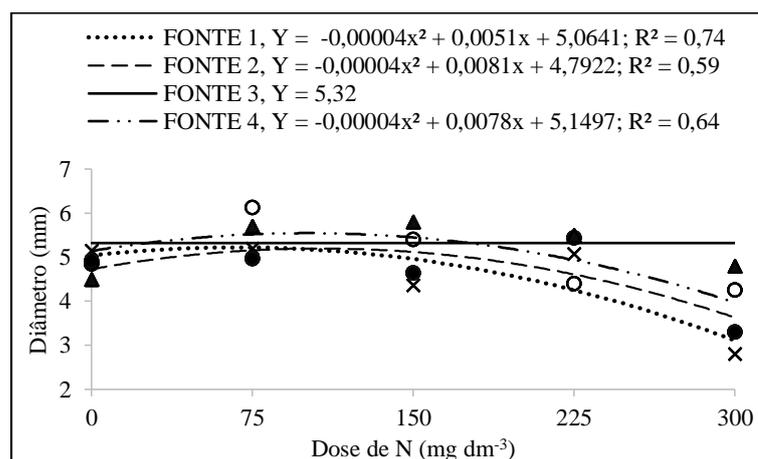


Figura 3. Diâmetro do coleto (DC) de mudas de *T. vulgaris* em resposta às doses de nitrogênio, para quatro fontes testadas (FONTE 1 = ureia; FONTE 2 = sulfato de amônio; FONTE 3 = nitrato de amônio e FONTE 4 = nitrato de cálcio), ao final do experimento ($\alpha = 0,05$).

Para a relação altura/diâmetro do colo (RHDC), a partir da interação significativa Fontes x Doses, verificou-se efeito quadrático sobre essa relação em função das doses de ureia e nitrato de amônio (Figura 4). O ajuste do modelo de regressão para sulfato de amônio e nitrato de cálcio não apresentaram efeito significativo sobre a relação RHDC

($p > 0,05$). As médias das fontes ureia (4,95), sulfato de amônio (5,13) e nitrato de amônio (5,57) não apresentaram diferença estatística entre si e a média do nitrato de cálcio foi diferente e superior às demais (6,36), pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Segundo Carneiro (1995), a RHDC exprime o equilíbrio de desenvolvimento das mudas, pois relaciona duas importantes características em apenas um índice. Dessa forma, considerando que o pressuposto dessa relação é o equilíbrio de crescimento da planta, quanto mais próximo de zero, ou seja, quanto menor o valor de RHDC, melhor será a qualidade da muda.

Quanto ao efeito das doses sobre RHDC, os menores índices para ureia (4,41) e nitrato de amônio (4,43) foram observados nas menores doses aplicadas, de 0 e 75 mg dm^{-3} de N, respectivamente (Figura 4). Isso pode estar relacionado a um desequilíbrio entre as características envolvidas na determinação desse índice, devido aos altos níveis de N que tendem a promover o crescimento em altura em detrimento ao crescimento do diâmetro de coleto (CARNEIRO, 1995). Entretanto, os resultados da relação RHDC para as mudas de *T. vulgaris*, seguem o comportamento dos resultados discutidos para H e DC, pois o aumento das doses de N exerceu efeito negativo no crescimento dessas variáveis.

Estudando o comportamento de mudas de *Cariniana estrellensis*, *Tabebuia serratifolia* e *Cariniana legalis*, submetidas a doses de N, Goulart (2011) observou o efeito quadrático sobre RHDC das fontes nitrato de amônio e sulfato de amônio para a primeira espécie e, para as demais espécies, não foi possível o ajuste da equação de regressão em função das doses de N. Em mudas de *Piptadenia gonoacantha*, os melhores índices de RHDC, 2,91 e 5,10, foram observados nas menores doses aplicadas, sendo elas 0 e 50 mg dm^{-3} , respectivamente (MARQUES et al., 2009).

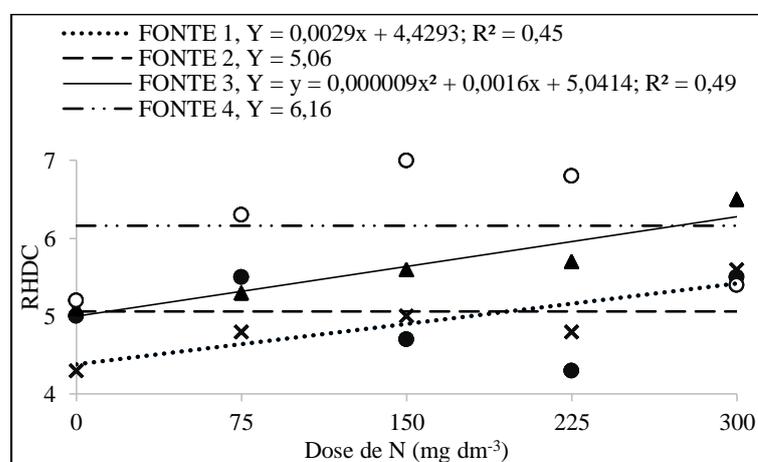


Figura 4. Relação altura da parte aérea e diâmetro do coleto (RHDC) de mudas de *T. vulgaris* em resposta às doses de nitrogênio, para quatro fontes testadas (FONTE 1 = ureia; FONTE 2 = sulfato de amônio; FONTE 3 = nitrato de amônio e FONTE 4 = nitrato de cálcio), ao final do experimento ($\alpha = 0,05$).

Segundo Gomes e Paiva (2006), a altura da parte aérea da muda, combinada com seu respectivo diâmetro de coleto, constitui num dos mais importantes parâmetros morfológicos para estimar o crescimento das mudas após o plantio em campo. Estes dois parâmetros num só índice também podem ser denominados de quociente de robustez, representando um equilíbrio de crescimento (CARNEIRO, 1995).

De maneira geral, verificou-se que as mudas de *T. vulgaris* responderam positivamente à aplicação de N mineral na produção e alocação de biomassa seca, para as menores doses do experimento. Houve interação significativa dos fatores (F x D) para matéria seca de parte aérea (MSPA), matéria seca de raiz (MSR) e matéria seca total (MST) ($p \leq 0,05$) (Tabela 2).

O efeito das doses de N testadas sobre o MSPA foi ajustado no modelo quadrático para as duas fontes que apresentaram ajuste significativo do modelo de regressão, indicando que a espécie respondeu positivamente à aplicação de N. As doses de máxima eficiência encontradas, sobre o MSPA para as fontes ureia e nitrato de cálcio foram de 113,75 (20,99g) e 92,67 mg dm⁻³ de N (22,72g), respectivamente (Figura 5). Não houve efeito significativo para as doses de N de sulfato de amônio e nitrato de amônio sobre a MSPA. As fontes de nitrogênio aplicadas não diferiram entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$) para essa variável.

Trabalhando com uma espécie florestal da mesma família, Caione et al. (2012) não observaram aumento no acúmulo de matéria seca na parte aérea em relação ao tratamento controle, em mudas de *Schizolobium amazonicum* fertilizadas com 150 g m⁻³ de N utilizando o sulfato de amônio. Em mudas de *Calophyllum brasiliense* Cambèss, doses crescentes de N influenciaram negativamente nos valores de massa seca foliar e o resultado da regressão se deu de forma linear negativa, sendo o maior acúmulo de massa seca nas folhas, embora não de forma significativa, obtido com a dose de 40 mg dm⁻³ de N (CIRIELLO, 2010). Entretanto, Gonçalves et al. (2010) observaram comportamento semelhante em mudas de *Mimosa caesalpiniaefolia*, ocorrendo o efeito quadrático da aplicação de N na massa seca da parte aérea, sugerindo aumento dos valores dessas características, à medida que se aumentam as doses.

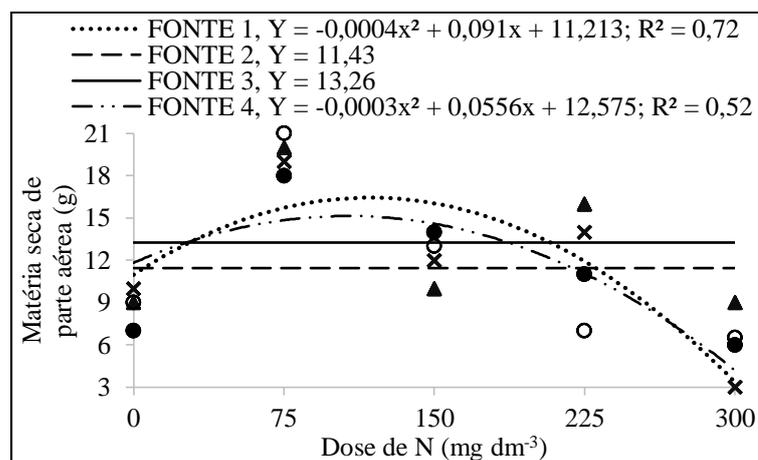


Figura 5. Matéria seca de parte aérea (MSPA) de mudas de *T. vulgaris* em resposta às doses de nitrogênio, para quatro fontes testadas (FONTE 1 = ureia; FONTE 2 = sulfato de amônio; FONTE 3 = nitrato de amônio e FONTE 4 = nitrato de cálcio), ao final do experimento ($\alpha = 0,05$).

Em relação a matéria seca das raízes (MSR), houve interação significativa entre as fontes e as doses estudadas ($p \leq 0,05$) (Tabela 2). Ao desdobrar a interação, foram confirmados efeitos significativos para as doses de N de ureia, sulfato de amônio e nitrato de cálcio; não significativo ($p > 0,05$) para as doses de N de nitrato de amônio. Todas as fontes em que foi possível o ajuste dos modelos de regressão apresentaram efeito quadrático sobre PMSR em resposta às doses de N, sendo as doses de máxima eficiência de 105,55 (3,53g), 111,67 (3,14g) e 102,14 mg dm⁻³ (4,60g) para ureia, sulfato de amônio e nitrato de cálcio, respectivamente (Figura 6).

Entre as fontes de N aplicadas, a maior média de MSR foi obtida com nitrato de amônio (3,16 g), seguida pelo nitrato de cálcio (2,62 g). As médias das fontes ureia (2,03 g) e sulfato de amônio (2,13 g) apresentaram-se iguais estatisticamente, pelo teste de Tukey ($p > 0,050$). Com a redução da matéria seca das raízes observa-se aumento de relação parte aérea/raiz, o que pode ocasionar efeito negativo para a qualidade das mudas.

Resultados semelhantes também foram encontrados por Tucci et al. (2009) em mudas de *Swietenia macrophylla* King, onde o uso da dose máxima de N (240 g N ton⁻¹ de substrato) provocou efeito negativo sobre a matéria seca da raiz. Para a espécie *Calophyllum brasiliense* Cambèss, doses de N superiores a 40 mg dm⁻³, utilizando-se como fonte a ureia, afetaram negativamente a alocação de biomassa para as raízes (CIRIELLO, 2010). Diferindo desses resultados, de acordo com Gonçalves et al. (2008), em mudas de *Anadenanthera macrocarpa*, a aplicação de N não apresentou efeito significativo sobre MSR.

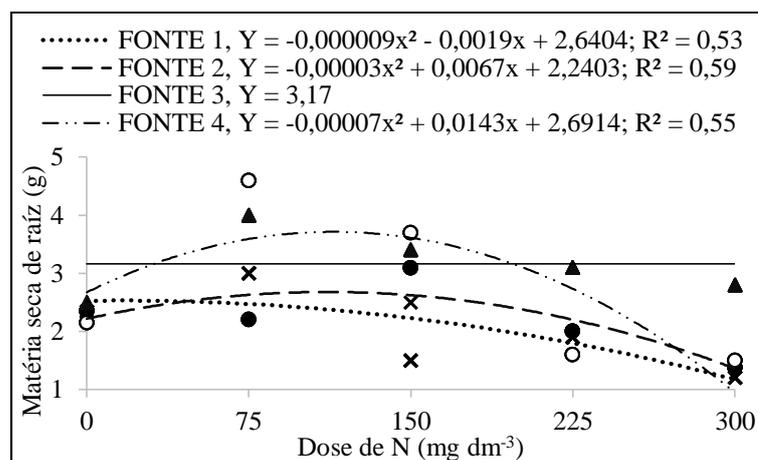


Figura 6. Matéria seca de raiz (MSR) de mudas de *T. vulgaris* em resposta às doses de nitrogênio, para quatro fontes testadas (FONTE 1 = ureia; FONTE 2 = sulfato de amônio; FONTE 3 = nitrato de amônio e FONTE 4 = nitrato de cálcio), ao final do experimento ($\alpha = 0,05$).

Os dados de matéria seca total (MST), ajustaram-se ao modelo de regressão quadrático em função das doses de N, das fontes ureia e nitrato de cálcio e apresentaram os valores das doses de máxima eficiência de N de 111,37 (24,52g) e 116,50 mg dm⁻³ (27,32g), respectivamente (Figura 7). Os modelos quadráticos apresentaram comportamento semelhante para as duas fontes, mesmo fornecendo N-NO₃⁻ e N-NH₄⁺ em diferentes proporções, indicando que a espécie *T. vulgaris* apresentou pouca diferenciação na produção de biomassa total, em relação à pela presença de ambas as formas de N-mineral e suas respectivas doses na adubação, o que foi explicitado no comportamento da curva no gráfico. As doses de N de sulfato de amônio e nitrato de amônio não resultaram em efeito significativo sobre MST ($p > 0,05$) para o ajuste do modelo de regressão. Entre as fontes de N estudadas, as médias de ureia, sulfato de amônio, nitrato de amônio e nitrato de cálcio não diferiram entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$), apresentando valores médios de 13,69g, 13,56g, 16,43g e 14,13g, respectivamente.

Adams e Attiwill (1982), avaliando a atividade da enzima nitrato-redutase e a resposta de crescimento de espécies florestais à aplicação de nitrato e amônio, observaram que a MST de *Eucalyptus regnans* aumentou de forma significativamente em função das doses de N, enquanto no *Eucalyptus obliqua*, apresentou decréscimo menor e, por fim, *Pinus radiata* não apresentou resposta significativa às fontes de N aplicadas. Outros trabalhos utilizando espécies florestais corroboram com os resultados do presente trabalho, como em mudas de *Apuleia leiocarpa* (NICOLOSO et al., 2005); *Samanea inopinata* (CRUZ et al., 2006); *Tabebuia serratifolia*, *Cariniana estrellensis* e *Cariniana legalis* (GOULART, 2011); *Swietenia macrophylla* (TUCCI et al., 2009), sob doses

crecentes de N, apresentaram melhor ajuste ao modelo quadrático de regressão para MST. Assim, confirmam-se os efeitos positivos da adubação nitrogenada, na forma de nitrato e amônio, no incremento de biomassa na produção de mudas de *T. vulgaris* e em diversas outras espécies florestais.

Já para a espécie *Calophyllum brasiliense* Cambèss, de acordo com Ciriello (2010), doses crescentes de N influenciaram negativamente nos valores de massa seca foliar, de caule, de raízes e, conseqüentemente, na massa total, ocasionando o ajuste de regressão ao modelo linear negativo, assim, podendo indicar que é uma espécie pouco exigente neste nutriente no início de seu desenvolvimento, o que não implica que não seja após um ano de idade. Ainda, segundo esse mesmo autor, outra possibilidade seria o parcelamento do N, o que poderia proporcionar melhores respostas.

Em mudas de *Apuleia leiocarpa* (NICOLOSO et al., 2005), submetidas a diferentes proporções de N, pela variação da quantidade de N-NO₃⁻ e N-NH₄⁺ (correspondendo a concentração final de 70 mg de N kg⁻¹ de solo), para PMST foi observado o comportamento quadrático para as maiores concentrações de N-NO₃⁻ e linear positivo quando a proporção correspondeu a 50% de cada forma de N e quando a maior concentração correspondeu a N-NH₄⁺ (75%).

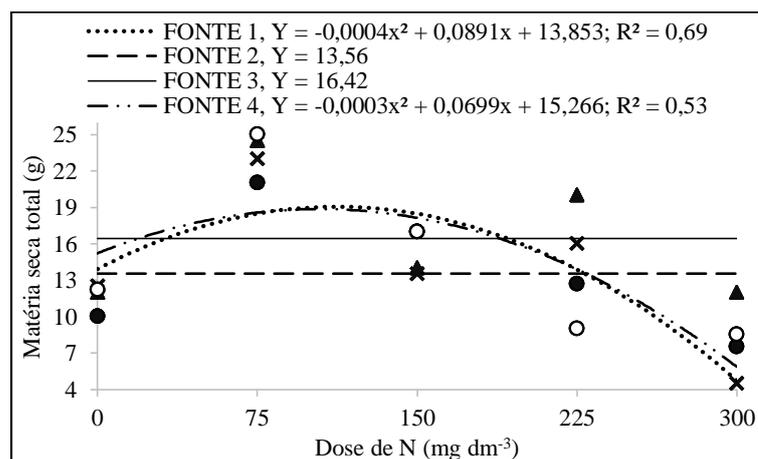


Figura 7. Matéria seca total (MST) de mudas de *T. vulgaris* em resposta às doses de nitrogênio, para quatro fontes testadas (FONTE 1 = ureia; FONTE 2 = sulfato de amônio; FONTE 3 = nitrato de amônio e FONTE 4 = nitrato de cálcio), ao final do experimento ($\alpha = 0,05$).

Através dos dados apresentados na Tabela 2, observa-se que houve efeito significativo ($p \leq 0,05$) da interação entre fontes e doses de N sobre a relação altura da parte aérea e matéria seca da parte aérea (RHMSPA). As fontes ureia, nitrato de amônio e nitrato de cálcio proporcionaram ajuste do modelo quadrático em função das doses de N. Já para sulfato de amônio, não houve significância ($p > 0,05$) (Figura 8). As médias de ureia (2,48), sulfato de amônio (2,34), nitrato de amônio (2,45) e do nitrato de cálcio

(3,14) não diferiram entre si pelo teste de Tukey ($p>0,05$). Este quociente não é comumente utilizado como índice para avaliar o padrão de qualidade de mudas, entretanto, este fator pode prever o potencial de sobrevivência da muda no campo e, quanto menor for este índice mais lenhificada será a muda e maior será sua capacidade de sobrevivência no campo (GOMES et al., 2002; GOMES; PAIVA, 2006).

Sendo assim, nota-se que a aplicação de ureia apresentou resultados que permitem inferir que as mudas apresentariam maior percentual de sobrevivência no campo, pois proporcionaram menores índices. Este índice correlacionou-se com o índice observado para RHDC, em que a fertilização com ureia, também demonstrou menores valores, podendo verificar que a nutrição com $N-NH_4^+$ contribuiu positivamente para os índices que expressam a qualidade das mudas da espécie, proporcionando maior taxa de sobrevivência das mudas no campo. Em estudo realizado por Caione et al. (2012), o maior índice de RHMSPA (13,00) foi encontrado com a aplicação única de 150 mg dm^{-3} de N, utilizando como fonte a ureia, podendo prever, dessa forma, que a aplicação de N na dosagem descrita proporcionou mudas de qualidade inferior, segundo o pressuposto desse índice.

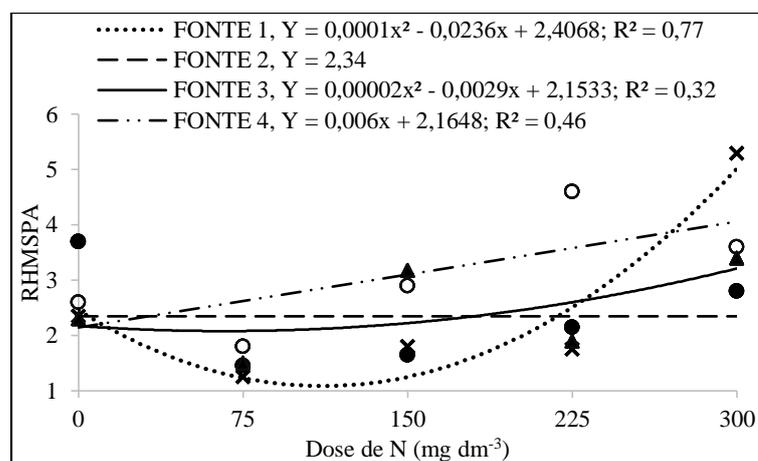


Figura 8. Relação altura e matéria seca de parte aérea (RHMSPA) de mudas de *T. vulgaris* em resposta às doses de nitrogênio, para quatro fontes testadas (FONTE 1 = ureia; FONTE 2 = sulfato de amônio; FONTE 3 = nitrato de amônio e FONTE 4 = nitrato de cálcio), ao final do experimento ($\alpha = 0,05$).

Em mudas de *Piptadenia gonoacantha* a RHMSPA apresentou resposta quadrática em razão das diferentes doses de N em dois substratos diferentes, obtendo-se os melhores valores desse índice, observados por pontos de mínimo, nas doses de 113, 159 e 134 mg dm^{-3} , em latossolo, argissolo e cambissolo, respectivamente (MARQUES et al., 2009). Ainda no mesmo estudo, os autores verificaram o melhor índice com aplicação do sulfato de amônio. Para as espécies florestais *Tabebuia serratifolia*, *Cariniana estrellensis* e *Cariniana legalis*, também foi ajustado o modelo quadrático para

RHPMSPA em função de doses crescentes de N no crescimento inicial (GOULART, 2011).

Nas mudas de *T. vulgaris*, a RMSPAR apresentou efeito significativo na interação fontes x doses ($p \leq 0,05$). O ajuste do modelo de regressão foi possível apenas para a nitrato de cálcio, resultando em um modelo linear negativo. Para essa fonte, o valor máximo do índice foi de 5,28 nas plantas sem fertilização (Figura 9). Dessa forma, observa-se positivo da adubação nitrogenada sobre esse índice.

Entre as fontes de N aplicadas, os piores índices, ou seja, as maiores médias de RPMSPAR foram obtidas com ureia (5,66) e sulfato de amônio (5,51), estatisticamente iguais entre si, seguidas pelo nitrato de cálcio (4,32) e, por fim, com o melhor índice, nitrato de amônio (4,15), pelo teste de Tukey ($p \leq 0,050$). A RMSPAR expressa o grau de equilíbrio de alocação de carbono nas plantas. Quando ocorre o decréscimo desse índice, sob condições de estresse, como déficit hídrico e nutricional, pode ocorrer a estagnação do crescimento de tecidos mais jovens e a partição de assimilados ser direcionada para as raízes, permitindo uma maior exploração de volume de solo para obtenção de água (GOULART, 2011).

Em mudas de mogno (*Swietenia macrophylla* King), Tucci et al. (2009) não observaram efeitos das doses crescentes de N na relação PMSPAR. Marques et al. (2009) avaliando tipos de solos, fontes e doses de nitrogênio em mudas de *Piptadenia gonoacantha*, observaram que a RPMSPAR não foi influenciada pelas fontes nitrogenadas, resultando em efeito significativo apenas na interação dos fatores solos x doses.

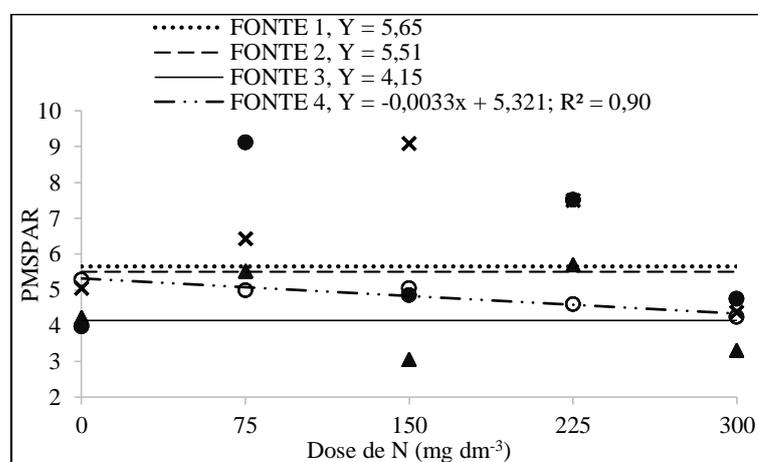


Figura 9. Relação matéria seca de parte aérea e matéria seca de raiz (MSPAR) de mudas de *T. vulgaris* em resposta às doses de nitrogênio, para quatro fontes testadas (FONTE 1 = ureia; FONTE 2 = sulfato de amônio; FONTE 3 = nitrato de amônio e FONTE 4 = nitrato de cálcio), ao final do experimento ($\alpha = 0,05$).

Para o índice de qualidade de Dickson (IQD), a interação entre fontes e doses de nitrogênio foi significativa ($p \leq 0,05$). Apenas as doses de nitrato de amônio não apresentaram significância sobre o IQD. As fontes apresentaram ajuste no modelo quadrático e comportamento semelhante perante as doses aplicadas, indicando o efeito positivo das doses de N sobre esse índice de qualidade de mudas. A ureia apresentou seu índice máximo de 2,26 na dose de 55 mg dm^{-3} de N; o sulfato de amônio, 1,95 na dose de 130 mg dm^{-3} de N e; o nitrato de cálcio apresentou 2,57 na dose de 85 mg dm^{-3} de N (Figura 10). As médias do IQD para as fontes testadas foram significativas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$), entretanto, foram iguais estatisticamente para as fontes ureia (1,27), sulfato de amônio (1,26), nitrato de amônio (1,67) e nitrato de cálcio (1,31).

Vale ressaltar que este índice é um bom indicador da qualidade das mudas, uma vez que leva em consideração as relações dos parâmetros massa seca total, massa seca da parte aérea, massa seca das raízes, altura de planta e diâmetro do coleto e, quanto maior o Índice de Qualidade de Dickson, melhor a qualidade das mudas (GOMES, 2001). Segundo Fonseca et al. (2002), os parâmetros morfológicos e as relações utilizadas para avaliação da qualidade das mudas não devem ser utilizados isoladamente para classificação do padrão da qualidade de mudas, a fim de que não corra o risco de selecionar mudas mais altas, porém fracas, descartando as menores, mas com maior vigor.

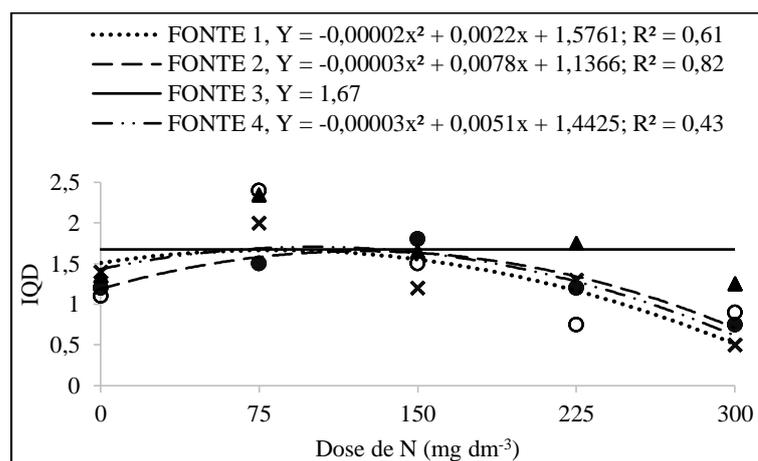


Figura 10. Índice de qualidade de Dickson (IQD) de mudas de *T. vulgaris* em resposta às doses de nitrogênio, para quatro fontes testadas (FONTE 1 = ureia; FONTE 2 = sulfato de amônio; FONTE 3 = nitrato de amônio e FONTE 4 = nitrato de cálcio), ao final do experimento ($\alpha = 0,05$).

Resultado semelhante ao encontrado no presente trabalho foi relatado por Cruz et al. (2006), em mudas da espécie florestal de *Samanea inopinata*, em que a adubação com sulfato de amônio em doses crescentes, a cada 28 dias, ocasionou resposta quadrática do IQD em função das doses de N, durante o cultivo das mudas, tendo ponto de máximo com a aplicação de $1,46 \text{ g}$ do fertilizante, por muda. Diferentemente dos resultados encontrados

no presente trabalho, em que se observou o efeito quadrático das doses de N, em mudas de *Senna macranthera*, de acordo com Cruz et al. (2010), o IQD apresentou respostas lineares crescentes aos tratamentos com nitrogênio, com maiores índices sendo encontrados em doses superiores a 170 mg/dm³ de N.

Na tabela 3 são apresentados os resumos das análises de variância das trocas gasosas, sendo: taxa de fotossíntese (*A*), condutância estomática (*gs*), concentração de CO₂ intracelular (*Ci*), transpiração (*E*), eficiência instantânea de carboxilação (Φ_c) e eficiência do uso da água (*EUA*). Houve efeito significativo ($p \leq 0,05$) das fontes e doses de N para todas as variáveis fisiológicas estudadas. A interação entre os dois fatores estudados (Fonte x Dose) também foi significativa para todas as variáveis ($p \leq 0,05$).

O fornecimento de nitrogênio por meio da aplicação dos fertilizantes levou a alterações significativas nas trocas gasosas de mudas de *T. vulgaris*, observado através do ajuste do modelo quadrático para as variáveis fisiológicas em função das doses de N, confirmando o efeito das fontes e doses no comportamento fisiológico da espécie.

Tabela 3. Resumo da análise de variância das trocas gasosas, na produção mudas de *T. vulgaris*, submetidas a diferentes fontes e doses de nitrogênio.

FV	GL	Quadrado Médio					
		<i>A</i>	<i>gs</i>	<i>Ci</i>	<i>E</i>	Φ_c	<i>EUA</i>
Bloco	3	0,319 ^{NS}	0,000013 ^{NS}	15,3 ^{NS}	0,0037 ^{NS}	0,0003982 ^{NS}	0,0163 ^{NS}
Fonte (F)	3	24,531 *	0,002631 *	2062,9 *	0,4129 *	0,0013395 *	2,5757 *
Dose (D)	4	17,713 *	0,020521 *	14340,9 *	5,0108 *	0,0026159 *	16,3583 *
F x D	12	7,192 *	0,015175 *	6872,6 *	2,7256 *	0,0011121 *	6,9927 *
Resíduo	57	0,073	0,000006	247,9	0,0013	0,0004535	0,2564
CV (%)		47,88	68,13	27,28	55,53	101,41	50,21

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

^{NS} Não-significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste F.

A – Taxa de fotossíntese; *gs* – Condutância estomática; *Ci* - Concentração de CO₂ intracelular; *E* – Transpiração; Φ_c - Eficiência de instantânea de carboxilação; *EUA* - eficiência do uso da água.

Para os valores de fotossíntese (*A*), verificou-se a significância para a interação dos fatores (F x D) (Tabela 3), obtendo-se para as fontes ureia e sulfato de amônio um efeito quadrático das doses aplicadas (Figura 11). As doses de N do nitrato de amônio e nitrato de cálcio não apresentaram resposta significativa sobre *A* para o ajuste do modelo de regressão ($p > 0,05$). As doses de máxima eficiência de ureia e sulfato de amônio para as taxas de fotossíntese, corresponderam a 94,0 (5,30 $\mu\text{mol} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) e 236,7 mg dm⁻³

(5,11 $\mu\text{mol}.\text{CO}_2.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) de N, respectivamente. Em relação ao efeito principal das fontes, as médias de A não diferiram estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p>0,05$).

Verificou-se que a ausência ou as maiores doses de nitrogênio utilizadas no presente trabalho para a fonte 1 (150, 225 e 300 mg dm^{-3}) e fonte 2 (225 e 300 mg dm^{-3}) regularam negativamente a própria taxa de assimilação do carbono, e esse pode ter sido um dos fatores responsáveis pelo decréscimo no acúmulo de matéria seca total das plantas submetidas a esses tratamentos. Em plantas jovens de *Manihot esculenta* Crantz, a utilização de N-NH_4^+ causou redução das taxas fotossintéticas e afetou severamente o acúmulo de massa seca total, resultado dos efeitos tóxicos do amônio (CRUZ et al., 2014). Para a espécie *Camellia sinensis* L., Du et al. (2015) observaram que a aplicação balanceada de NO_3^- e NH_4^+ proporcionou elevação dos valores de fotossíntese líquida, condutância estomática e transpiração, em detrimento ao tratamento com aplicação isolada de NH_4^+ , que reduziu a eficiência do uso da água (EUA). Nascimento et al. (2014), verificaram em plantas de *Hymenaea courbaril* L. a redução na fotossíntese, transpiração, condutância estomática, eficiência instantânea de carboxilação e na eficiência do uso da água, além dos menores valores para o acúmulo de matéria seca, quando estas foram submetidas a deficiência no suprimento de nitrogênio.

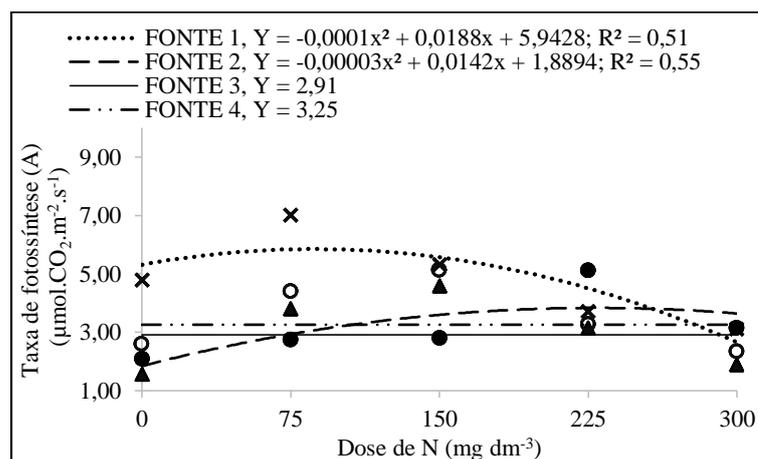


Figura 11. Taxa de fotossíntese (A) de mudas de *T. vulgaris* em resposta às doses de nitrogênio, para quatro fontes testadas (FONTE 1 = ureia; FONTE 2 = sulfato de amônio; FONTE 3 = nitrato de amônio e FONTE 4 = nitrato de cálcio), ao final do experimento ($\alpha = 0,05$).

Influência negativa do déficit de nitrogênio sobre a taxa fotossintética tem sido observada para diversas espécies e é explicada pelo fato de que a aplicação desse nutriente determina a formação de compostos relacionados à fotossíntese tais como transportadores de elétrons e RubisCO (EVANS, 1989). Adicionalmente, concentrações ótimas de nitrogênio podem ser necessárias para a manutenção da atividade carboxilativa da RubisCO (CRUZ et al., 2008). Plantas cultivadas com um fornecimento ineficiente de N

podem apresentar um expressivo aumento na concentração de amido nos cloroplastos (CRUZ et al., 2004), e esse acúmulo normalmente é acompanhado por danos aos tilacóides (BONDADA; SYVERTSEN, 2005), o que também ajuda a explicar a redução da taxa fotossintética nessas condições. Outro fato ligado a redução da atividade fotossintética pode ser explicado devido ao comprometimento da absorção de CO₂ através dos estômatos, em resposta a estresses sobre o metabolismo fotossintético, como por exemplo distúrbios nutricionais (ENDRES et al., 2010).

A aplicação de fertilizantes nitrogenados como ureia em grandes quantidades e de forma sucessiva ao substrato pode acidificar o pH do solo, após a nitrificação do amônio originado da hidrólise da ureia (COSTA et al., 2008), ocasionando outras alterações em diversos atributos químicos do solo, como a redução da CTC efetiva e das bases trocáveis, além do aumento do teor de Al trocável. Primavesi et al. (2004) também relataram a acidificação do solo com a aplicação de sulfato de amônio, de forma mais intensa que as fontes ureia e nitrato de amônio. Dessa forma, diminuindo a disponibilidade dos macronutrientes do solo e causando deficiências nutricionais para as plantas, o que foi observado por Matheus et al. (2011) estudando mudas de jatobá, onde a omissão de macronutrientes se manifestaram com sintomas de deficiência característicos, como a redução do crescimento e a presença de clorose generalizada, além da redução da fotossíntese. Para a fonte sulfato de amônio, houve um acréscimo mais gradativo das taxas de A, atingindo o valor máximo na dose de 236,7 mg dm⁻³ de N, sendo esse acréscimo em torno de 146%, em relação às mudas sem fertilização. A eficiência do uso da radiação é diretamente dependente da taxa de fotossíntese máxima da folha. Considerando que a atividade fotossintética é dependente do conteúdo de N na folha, a eficiência do uso da radiação é conseqüentemente também fortemente relacionada ao conteúdo deste nutriente na folha (SINCLAIR; VADEZ, 2002). Desta forma, deve-se manter a planta sempre bem nutrida em relação a este nutriente. Para isto, há necessidade de se estimar corretamente a quantidade de N que deve ser aplicada, com intuito de satisfazer às necessidades da cultura. As plantas possuem estruturas químicas altamente dependentes do N já que desde os aminoácidos até as enzimas relacionadas ao processo fotossintético têm no N seu constituinte principal (SALISBURY; ROSS, 1993).

Para a condutância estomática (*gs*) pode-se constatar, na figura 12, que o modelo que melhor se ajustou aos dados foi o polinomial de 2° grau, apenas para a fonte sulfato de amônio, demonstrando um comportamento quadrático da *gs* em função das doses de

N. Com a equação proveniente do modelo ajustado, foi estimado o valor máximo de eficiência para g_s com a dose de 225 mg dm^{-3} de N ($0,1277 \text{ } \mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). As doses de N das fontes ureia, nitrato de amônio e nitrato de cálcio não apresentaram resposta significativa sobre os valores de g_s para o ajuste do modelo de regressão ($p > 0,05$). As fontes de nitrogênio aplicadas não diferiram entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$) para essa variável. Quando foi utilizada a dose de 300 mg dm^{-3} de sulfato de amônio, as plantas expressaram a g_s média de $0,082 \text{ } \mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, caracterizando o fechamento dos estômatos. Resultados semelhantes foram encontrados por Cruz et al. (2008), para a espécie *Manihot esculenta* Crantz, em que plantas cultivadas com altas doses de NH_4^+ , apresentaram redução na taxa fotossintética e na abertura dos estômatos. Ainda, de acordo com o mesmo autor, as plantas fertilizadas apenas com NO_3^- ou com NO_3^- mais NH_4^+ não apresentaram diferenças em suas condutâncias. Melo et al. (2009) também observaram uma redução na g_s à medida que se aumentaram as doses de N em plantas de *Musa* spp, utilizando como fonte a ureia.

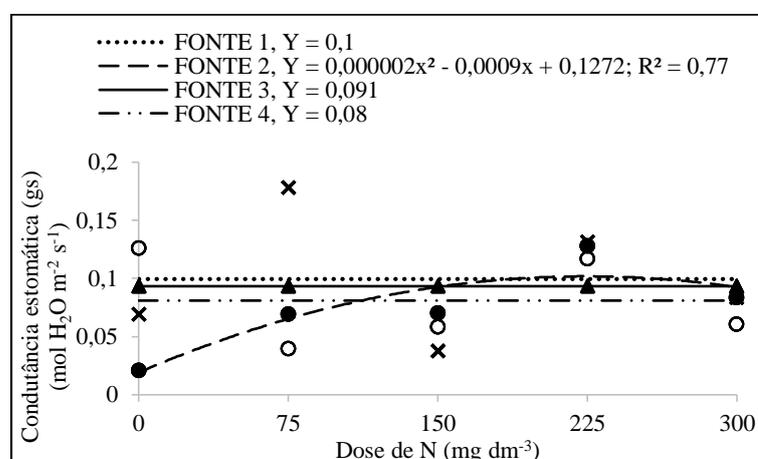


Figura 12. Condutância estomática (g_s) de mudas de *T. vulgaris* em resposta às doses de nitrogênio, para quatro fontes testadas (FONTE 1 = ureia; FONTE 2 = sulfato de amônio; FONTE 3 = nitrato de amônio e FONTE 4 = nitrato de cálcio), ao final do experimento ($\alpha = 0,05$).

A razão pela qual íons NH_4^+ reduzem a condutância estomática ainda não está completamente elucidada e podem haver vários fatores ocorrendo ao mesmo tempo (LOPES; ARAUS, 2006). O íon NH_4^+ reduz a concentração foliar de diversos nutrientes essenciais, como por exemplo o potássio (BRITTO; KRONZUCKER, 2002), o qual é importante para o funcionamento normal dos estômatos (TAIZ; ZEIGER, 2013). O fechamento estomático também pode ser consequência do menor potencial hídrico foliar que essas plantas possam apresentar, visto que plantas cultivadas exclusivamente com NH_4^+ podem reduzir a condutividade hidráulica das raízes, diminuindo, assim, o transporte de água para atender a demanda da parte aérea (ADLER et al., 1996).

Adicionalmente, a elevação dos níveis de ácido abscísico, como consequência da fertilização amoniacal, também pode ter concorrido para o observado fechamento estomático (PEUKE et al., 1998). A consequência do mecanismo de fechamento dos estômatos é a redução da disponibilidade de CO₂, que acarreta alterações entre o balanço apropriado e o transporte de elétrons, o metabolismo de carbono e o consumo de ATP e NADPH que, em conjunto, tornam o fotossistema II ineficiente, comprometendo a produção de fotossintatos (TEZARA et al., 2005).

Apresentando elevada relação com os valores de *g_s*, observou-se, também, a diminuição da concentração interna de CO₂ (*C_i*) com as maiores doses de N, exceto para a aplicação de ureia (Figura 13). Para essa variável houve interação significativa entre as fontes e as doses (F x D) estudadas ($p \leq 0,05$) (Tabela 3). Ao desdobrar a interação, foram confirmados efeitos significativos para as doses de N de todas as fontes testadas. O modelo polinomial de 2º grau foi o que melhor se ajustou, demonstrando o comportamento quadrático de *C_i* em resposta ao incremento das doses de N. As doses para máxima eficiência foram de 205,28 (191,13 $\mu\text{mol.CO}_2.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$), 192,39 (231,79 $\mu\text{mol.CO}_2.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) e 249 mg dm^{-3} (210,67 $\mu\text{mol.CO}_2.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) para sulfato de amônio, nitrato de amônio e nitrato de cálcio, respectivamente (Figura 13). Para a fonte ureia, o valor máximo de *C_i* seria observado em doses maiores das utilizadas no experimento. Em relação ao efeito principal das fontes de N, todas apresentaram-se iguais estatisticamente, pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

Esse comportamento pode indicar que a limitação ao ingresso desse composto pode ser a causa determinante para a redução das taxas fotossintéticas das plantas cultivadas com as maiores doses de N. Essa afirmação pode ser constatada pelas relações entre a fotossíntese e a condutância estomática (Figuras 11 e 12), e fotossíntese e concentração interna de CO₂ (Figuras 11 e 13). Também foi observada a redução dos valores de fotossíntese e condutância estomática em girassol (LASA et al., 2000) e cevada (LOPES et al., 2004) em função de doses crescentes de N com a fonte amoniacal. Em plantas jovens de *Hevea brasiliensis* Mull. Arg., os maiores valores de *C_i* foram encontrados no tratamento sem fertilização, seguido pelo tratamento fertilizado com nitrato (NO₃⁻) e amônio (NH₄⁺) (CARNEIRO et al., 2015). Já Nascimento et al. (2014), não encontrou diferença significativa para a concentração interna de CO₂ em mudas de *Hymenaea courbaril* L. cultivadas com a presença ou ausência de N, apesar de que, ao

final do experimento, ser considerado o macronutriente mais limitante ao desenvolvimento das mudas da espécie.

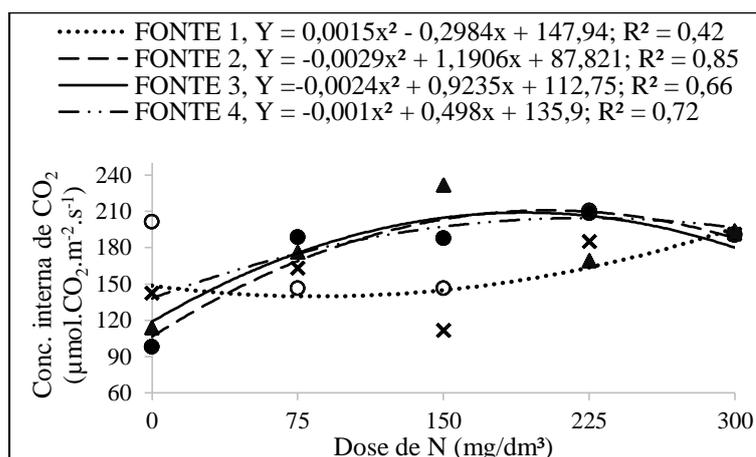


Figura 13. Concentração interna de CO₂ (C_i) de mudas de *T. vulgaris* em resposta às doses de nitrogênio, para quatro fontes testadas (FONTE 1 = ureia; FONTE 2 = sulfato de amônio; FONTE 3 = nitrato de amônio e FONTE 4 = nitrato de cálcio), ao final do experimento ($\alpha = 0,05$).

Para a transpiração (E), a partir da interação significativa dos fatores (Fontes x Doses), verificou-se efeito quadrático nas doses das fontes sulfato de amônio e nitrato de cálcio (Figura 14). O ajuste do modelo de regressão para as doses de N das fontes ureia e nitrato de amônio não apresentou efeito significativo sobre E ($p > 0,05$). Como descrito anteriormente, a redução da condutância estomática, além de implicar na queda da assimilação de CO₂, por sua vez, também afeta a transpiração, visto que ambos são processos difusivos e que levam à redução na produção de fotoassimilados. Em relação ao efeito principal das fontes de N, todas apresentaram-se iguais estatisticamente, pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

Durante as trocas gasosas, a absorção de dióxido de carbono do meio externo promove a perda de água e a diminuição dessa perda também restringe a entrada de CO₂ (SHIMAZAKI et al., 2007). Essa interdependência expressa pela relação entre a fotossíntese e a transpiração indica a eficiência no uso da água (EUA), em que os valores observados relacionam a quantidade de carbono que a planta fixa por cada unidade de água evapotranspirada (JAIMEZ et al., 2005; TAIZ; ZEIGER, 2013). Esse processo é influenciado pelas condições climáticas, entretanto o suprimento nutricional adequado tende a promover maiores taxas fotossintéticas, implicando em rendimentos superiores (MELO et al., 2009).

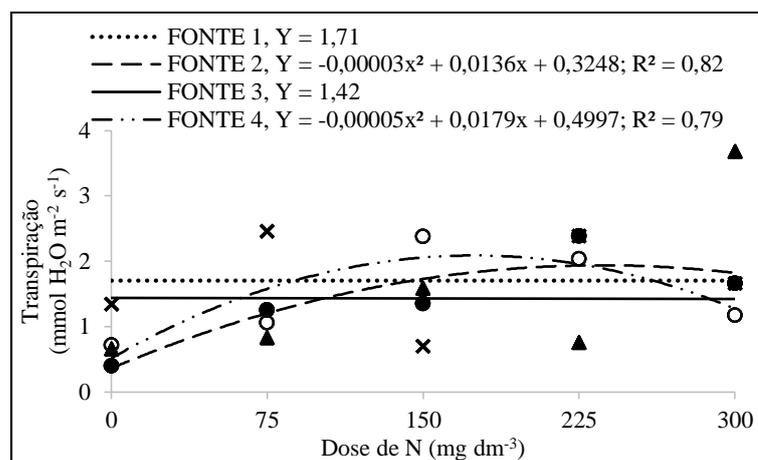


Figura 14. Transpiração (E) de mudas de *T. vulgaris* em resposta às doses de nitrogênio, para quatro fontes testadas (FONTE 1 = ureia; FONTE 2 = sulfato de amônio; FONTE 3 = nitrato de amônio e FONTE 4 = nitrato de cálcio), ao final do experimento ($\alpha = 0,05$).

Como variável dependente diretamente dos valores de A e E , verificou-se efeito significativo ($p \leq 0,05$) para a interação dos fatores (F x D) (Tabela 3), obtendo-se para todas fontes testadas, um efeito quadrático sobre EUA com o aumento das doses de N (Figura 15). Entretanto, para essa relação, somente a fonte ureia apresentou o comportamento da curva de regressão semelhante às suas curvas de A e E . As demais fontes apresentaram concavidade voltada para cima, diferentemente do que foi encontrado para o ajuste de fotossíntese e transpiração de suas respectivas fontes. O máximo valor de EUA alcançado no presente estudo ($7,34 \mu\text{mol} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{mmol}^{-1} \cdot \text{H}_2\text{O}$) foi com a fonte nitrato de amônio, com a dose de 75 mg dm^{-3} . Ferreira et al. (2012), avaliando plantas jovens de *Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl. submetidas a adubação verde, encontraram valores de EUA próximos de $3,5 \mu\text{mol} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{mmol}^{-1} \cdot \text{H}_2\text{O}$, que é abaixo do encontrado no presente trabalho para *T. vulgaris*. Trabalhando com Bananeira, Melo et al. (2009) encontraram o valor máximo de EUA de $4,09 (\mu\text{mol} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{mmol}^{-1} \cdot \text{H}_2\text{O})$ com a dose de 884 kg há^{-1} de N. O mecanismo de fechamento estomático no intuito de restringir a perda de água por transpiração pode ser considerado uma estratégia adaptativa utilizada por diferentes espécies visando limitar a perda de água e para exceder a deficiência hídrica, conforme foi verificado para as espécies lenhosas *Tabebuia aurea* (SILVA et al., 2003) e *Minuartia guianensis* Aubl. (LIBERATO et al., 2006) submetidas a deficiência hídrica. Nascimento et al. (2014), estudando a supressão de macronutrientes em mudas de *Hymenaea courbaril* L., encontrou maior EUA em plantas nutridas com N em detrimento as plantas com omissão desse nutriente.

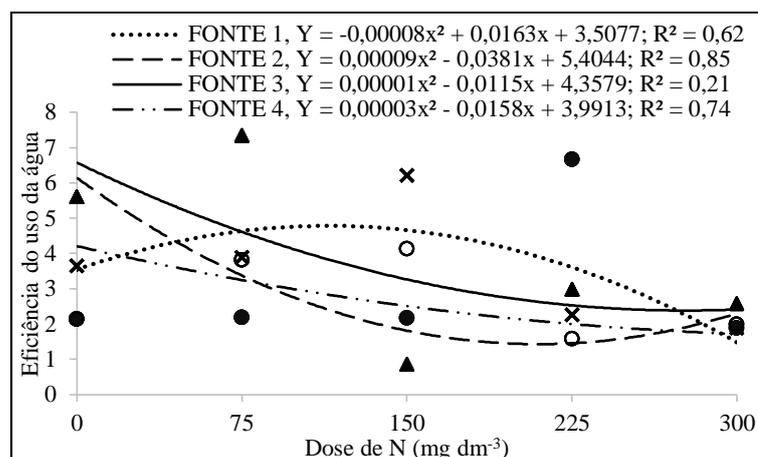


Figura 15. Eficiência do uso da água (*EUA*) de mudas de *T. vulgaris* em resposta às doses de nitrogênio, para quatro fontes testadas (FONTE 1 = ureia; FONTE 2 = sulfato de amônio; FONTE 3 = nitrato de amônio e FONTE 4 = nitrato de cálcio), ao final do experimento ($\alpha = 0,05$).

A atividade fotossintética pode ser afetada por fatores não estomáticos, notadamente os fatores que têm origem bioquímica (FARQUHAR; SHARKEY, 1982). Esse aspecto pode ser estudado ao se considerar a eficiência instantânea de carboxilação (Φ_c), que é dado pela relação entre fotossíntese e concentração de CO_2 intracelular (ZHANG et al., 2001). Para essa relação, houve interação significativa entre as fontes e as doses estudadas ($p \leq 0,05$) (Tabela 3). Ao desdobrar a interação, foram observados os efeitos significativos para as doses de N de ureia e nitrato de cálcio; não significativo ($p > 0,05$) para as doses de N de sulfato de amônio e nitrato de amônio. Para todas as fontes em que foi possível o ajuste do modelo de regressão, apresentaram efeito quadrático sobre Φ_c em resposta às doses crescentes de N (Figura 16). Entre as fontes de N aplicadas, avaliando o efeito principal, todas as médias apresentaram-se iguais estatisticamente, pelo teste de Tukey ($p > 0,050$). A redução nos valores de Φ_c nas maiores doses de N acompanhou o comportamento das demais variáveis fisiológicas (*A*, *g_s*, *C_i*, *E* e *EUA*), como também foi observado por Nascimento et al. (2014) na espécie jatobá em resposta a omissão de N. Melo et al. (2009), também observaram a redução da eficiência instantânea de carboxilação com o aumento das doses de N no cultivo de *Musa* spp. A redução dos valores de Φ_c pode ter ocorrido devido à oferta excessiva de N, causando aumento na atividade de oxigenase da enzima Rubisco em detrimento da carboxilase, provocando menor taxa na assimilação de carbono (LARCHER, 2006). Os maiores valores encontrados de Φ_c foram $0,058$ (125 mg dm^{-3}) e $0,032 \mu\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}\text{Pa}^{-1}$ (100 mg dm^{-3}) para ureia e nitrato de cálcio, respectivamente.

Em um contexto ecofisiológico, é de suma importância a forma como a taxa de fotossíntese e a condutância estomática se relacionam, pois como essas duas variáveis

fisiológicas variam proporcionalmente, possibilitam que a concentração interna de CO_2 e a eficiência do uso da água se mantenham em níveis adequados, possibilitando a otimização das trocas gasosas e controlando a absorção do dióxido de carbono, imprescindível na formação dos compostos resultantes da fotossíntese.

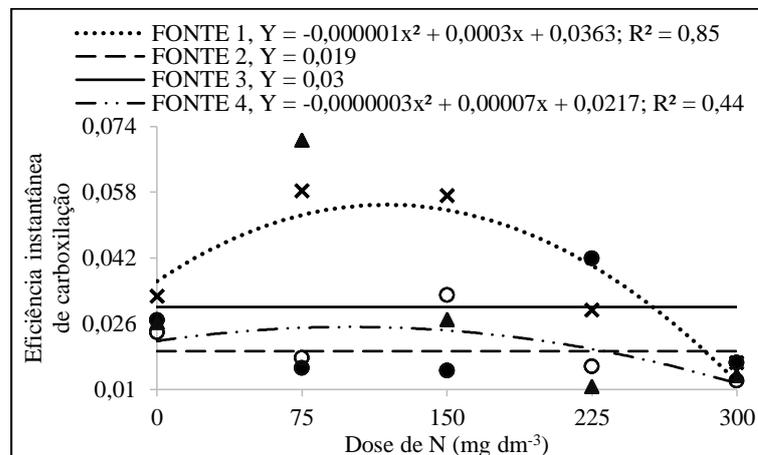


Figura 16. Eficiência instantânea de carboxilação (Φ_c) de mudas de *T. vulgaris* em resposta às doses de nitrogênio, para quatro fontes testadas (FONTE 1 = ureia; FONTE 2 = sulfato de amônio; FONTE 3 = nitrato de amônio e FONTE 4 = nitrato de cálcio), ao final do experimento ($\alpha = 0,05$).

4.4 Conclusão

A maioria das características de crescimento e trocas gasosas das mudas de *T. vulgaris* foram influenciadas positivamente pela adubação nitrogenada. Quanto às fontes de N utilizadas, as maiores médias de H, DC, PMSR, bem como os melhores índices de RHDC e PMSPAR foram obtidos com a aplicação de nitrato de amônio e nitrato de cálcio.

A dose máxima empregada neste estudo (300 mg dm^{-3} de N) causou efeito negativo sobre todos os parâmetros morfológicos e as relações das características avaliadas, prejudicando a qualidade das mudas, para todas as fontes testadas

O menor crescimento das plantas cultivadas exclusivamente N-NH_4^+ , o que foi o caso do fertilizante sulfato de amônio, pode estar associado à menor atividade fotossintética dessas plantas, em virtude da ação negativa desse íon sobre a condutância estomática, o que refletiu no menor crescimento e produção de biomassa.

Com base nos resultados, para produção de mudas de tachi-branco (*Tachigali vulgaris*) recomenda-se a dose de $173,3 \text{ mg dm}^{-3}$ de N, aplicado de forma parcelada, aos 25, 50, 75 e 100 dias, com o fertilizante nitrato de amônio.

REFERÊNCIAS

- ADAMS, M. A.; ATTIWILL, P. M. Nitraté reductase activity and growth response of forest species to ammonium and nitraté sources of nitrogen. **Plant and Soil**, Amsterdam, v. 66, n. 3, p. 373-381, 1982.
- ADLER, P.R. et al. Ammonium decreases muskmelon root system hydraulic conductivity. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 19, n. 10-11, p.1395-1403, 1996.
- ALVAREZ V., V.H.; DIAS, L.E.; LEITE, P.B.; SOUZA, R.B.; JUNIOR, E.S.R. Poda de raízes e adubação para crescimento do cafeeiro cultivado em colunas de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 1, p. 111-119, 2006.
- ANJOS, J. T.; TEDESCO, M. J. Volatilização de amônia proveniente de dois fertilizantes nitrogenados aplicados em solos cultivados. **Científica**, Botucatu, v. 4, n. 1, p. 49-55, 1976.
- BOLFE, E. L.; PEREIRA, R. S.; MADRUGA, P. R. A.; FONSECA, E. L. Avaliação da classificação digital de povoamentos florestais em imagens de satélite através de índices de acurácia. **Revista Árvore**, v. 28, n. 1, p.85-90, 2004.
- BONDADA, B.R.; SYVERTSEN, J.P. Concurrent changes in net CO₂ Assimilation and chloroplast ultrastructure in nitrogen deficient citrus leaves. **Environmental and Experimental Botany**, Oxford, v. 54, n. 1, p. 41-48, 2005.
- BOX, G. E. P. Non-normality and tests on variances. **Biometrika**, London, v. 40, n. 3-4, p. 318-335, 1953.
- BRITTO, D.T.; KRONZUCKER, H.J. NH₄⁺ toxicity in higher plants: a critical review. **Journal of Plant Physiology**, Stuttgart, v.159, n. 6, p. 567-584, 2002.
- CAIONE, G.; LANGE, A.; SCHONINGER, E. L.; Crescimento de mudas de *Schizolobium amazonicum* (Huber ex Ducke) em substrato fertilizado com nitrogênio, fósforo e potássio. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.40, n.94, p.213-221, 2012.
- CARNEIRO, J. G. A. **Produção e controle de qualidade de mudas florestais**. Curitiba: UFPR/FUPEF; Campos: UENF, 1995, 451 p.
- CARNEIRO, M. M. L. C.; GOMES, M. P.; SANTOS, H. R. B.; REIS, M. V. dos; MENDONÇA, A. M. das C.; OLIVEIRA, L. E. M. de. Fotorrespiração e metabolismo antioxidante em plantas jovens de seringueira cultivadas sob diferentes fontes de nitrogênio (NO₃⁻ e NH₄⁺). **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.10, n.1, p.66-73, 2015.

CARPANEZZI, A.A.; MARQUES, L.C.T.; KANASHIRO, M. **Aspectos ecológicos e silviculturais de taxi-branco-da-terra-firme (*Sclerolobium paniculatum* Vogel).** Curitiba, EMBRAPA-URPFCS, 1983. (EMBRAPA-URPFCS. Circular Técnica, 8).

CIRIELLO, V. **Crescimento inicial e nutrição de guanandi (*Calophyllum brasiliense* cambess) em função de NPK e saturação por bases do solo.** 2010. 93 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu/SP, 2010.

COSTA, K. A. de P.; FAQUIN, V.; OLIVEIRA, I. P. de; RODRIGUES, C.; SEVERIANO, E. da C. Doses e fontes de nitrogênio em pastagem de Campim-marandu. I – Alterações nas características químicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 1591-1599, 2008.

CRUZ, C. A. F. e; PAIVA, H. N. de; GUERRERO, C. R. A. Efeito da adubação nitrogenada na produção de mudas de sete-casca (*Samanea inopinata* (harms) ducke). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 4, p. 537-546, 2006.

CRUZ, C. A. F., PAIVA, H. N., CUNHA, A. C. M. C. M., NEVES, J. C. L. Resposta de mudas de *Senna macranthera* cultivadas em Argissolo Vermelho-Amarelo a macronutrientes. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 1, p. 63-76, 2010.

CRUZ, J. L.; ALVES, A. A. C.; LeCAIN, D. R.; ELLIS, D. D.; MORGAN, J. A. Effect of elevated CO₂ concentration and nitrate: ammonium ratios on gas exchange and growth of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). **Plant Soil**, v. 374, p. 33-43, 2014.

CRUZ, J. L.; FERREIRA, E. C.; PELACANI, C. R.; COELHO, M. A. F.; TOSTA, A. D.; SANTOS, M. T. dos. Crescimento e partição de matéria seca e de carbono no mamoeiro em resposta à nutrição nitrogenada. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n. 3, p. 351-361, 2004.

CRUZ, J. L.; PELACANI, C. R.; ARAUJO, W. L. Influência do nitrato e do amônio sobre a fotossíntese e a concentração de compostos nitrogenados em mandioca. **Ciencia Rural**, Santa Maria, v.38, n. 3, p. 643-649, 2008.

DAVIES, C. S. Strategy differences of two potato species in response to nitrogen starvation. Do plants have a genetic switch for nitrogen signalling? **Plant, Cell and Environment**, v. 23, p. 759-769, 2000.

DELBEM, F. C.; SCABORA, M. H.; SOARES FILHO, C. V.; HEINRICH, R.; CROCIOLLI, C. A.; CASSIOLATO, A. M. R. Fontes e doses de adubação nitrogenada na atividade microbiana e fertilidade do solo cultivado com *Brachiaria brizantha*. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.33, n. 2, p. 361-367, 2011.

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

DUCKE, A. Notas sobre a flora neotrópica — II. As leguminosas da Amazônia Brasileira. **Boletim Técnico do Instituto Agrônomo do Norte**, Belém, (18): 1-248, 1949.

DU, X. H.; PENG, F. R.; JIANG, J.; TAN, P. P.; WU, Z. Z.; LIANG, Y. W.; ZHONG, Z. K. Inorganic nitrogen fertilizers induce changes in ammonium assimilation and gas exchange in *Camellia sinensis* L. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, v. 39, p. 28-38, 2015.

ELOY, E.; CARON, B. O.; SCHMIDT, D.; BEHLING, A.; SCHWERS, L.; ELLI, E. F. Avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis* utilizando parâmetros morfológicos. **FLORESTA**, Curitiba, v. 43, n. 3, p. 37-384, 2013.

ENDRES, L.; SOUZA, J. L. de; TEODORO, I.; MARROQUIM, P. M. G.; SANTOS, C. M. dos; BRITO, J. E. D. de. Gas Exchange alteration caused by water deficit during the bean reproductive stage. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 1, p. 11-16, 2010.

EVANS, J.R. Photosynthesis and nitrogen relationship in leaves of C3 plants. **Oecologia**, Berlin, v. 78, n. 1, p. 9-19, 1989.

FARQUHAR, G.D.; SHARKEY, T.D. Stomatal conductance and photosynthesis. **Annual Review of Plant Physiology**, v. 33, p. 317-345, 1982.

FERNANDES, L. A.; FURTINI NETO, A. E.; FONSECA, F. C.; VALE, F. R. do. Crescimento inicial, níveis críticos de fósforo e frações fosfatadas em espécies florestais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 6, p. 1191-1198, 2000.

FERRARI, S.; FURLANI JÚNIOR, E.; GODOY, L. J. G. de; FERRARI, J. V.; SOUZA, W. J. O. de; ALVES, E. Effects on soil chemical attributes and cotton yield from ammonium sulfate and cover crops. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 37, n. 1, p. 75-83, 2015.

FERREIRA, M. J.; GONÇALVES, J. F. de C.; FERRAZ, J. B. S. Crescimento e eficiência do uso da água de plantas jovens de castanheira-da-amazônia em área degradada e submetidas à adubação. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 2, p. 393-401, 2012.

FONSECA, E.P.; VALÉRI, S.V.; MIGLIORANZA, É.; FONSECA, N.A.N.; COUTO, L. Padrão de qualidade de mudas de *Trema micrantha* (L.) Blume, produzidas sob diferentes períodos de sombreamento. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 515-523, 2002.

FRÁGUAS, C. B.; CHAGAS, E. A.; FERREIRA, M. M.; CARVALHO, J. G.; PASQUAL, M. Micropropagação de gloxínia em diferentes concentrações de nitrato de amônio e uréia. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 27, n. 4, p. 811-815, 2003.

FREIBERGER, M. B. **Crescimento inicial e nutrição do pinhão-mansão em função da adubação com NPK**. 2012. 68 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu/SP, 2012.

FREITAS, T. F. S. de; SILVA, P. R. F. da; MARIOT, C. H. P.; MENEZES, V. G.; ANGHINONI, I.; BREDEMEIER, C.; VIEIRA, V. M. Produtividade de arroz irrigado e

eficiência da adubação nitrogenada influenciadas pela época da semeadura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 6, p. 2397-2405, 2008.

GOMES, J. M. **Parâmetros morfológicos na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*, produzidas em diferentes tamanhos de tubete e de dosagens de N-P-K**. 2001. 126f.. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2001.

GOMES, J. M.; COUTO, L.; LEITE, H. G.; XAVIER, A.; GARCIA, S.L. R. Parâmetros morfológicos na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 6, p. 655-664, 2002.

GOMES, J.M. **Parâmetros morfológicos na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*, produzidas em diferentes tamanhos de tubete e de dosagens de N-P-K**. Viçosa, 2001. 126p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

GOMES, J.M.; PAIVA, H.N. **Viveiros Florestais: propagação sexuada**. Viçosa: UFV, 2006.

GONÇALVES, E. O.; PAIVA, H. N.; NEVES, J. C. L.; GOMES, J. M. Crescimento de mudas de angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan) sob diferentes doses de macronutrientes. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 6, p. 1029-1040, 2008.

GONÇALVES, E. O.; PAIVA, H. N.; NEVES, J. C. L.; GOMES, J. M. Crescimento de mudas de sansão-do-campo (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.) sob diferentes doses de macronutrientes. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 88, p. 599-609, 2010.

GOULART, L. M. L. **Crescimento e qualidade de mudas de ipê-amarelo (*Tabebuia serratifolia* (Vahl.) Nich.), jequitibá-rosa (*Cariniana estrellensis* (Raddi) Kuntze) e jequitibá-branco (*Cariniana legalis* (Mart.) Kuntze), em resposta à adubação nitrogenada**. 2011. 83 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2011.

JAIMEZ, R. E.; RADA, F.; GARCÍA-NÚÑEZ, AZÓCAR, A. Seasonal variations in leaf gas exchange of plantain cv. Hartón (*Musa AAB*) under different soil water conditions in a humid tropical region. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 104, n. 1, p. 79-89, 2005.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RIMA Artes e Textos. 2006. 532p.

LASA, B.; FRECHILLA, S.; ALEU, M.; GONZÁLEZ-MORO, B.; LAMSFUS, C.; APARICIO-TEJO, P. M. Effects of low and high levels of magnesium on the response of sunflower plants grown with ammonium and nitrate. **Plant and Soil**, Amsterdam, v. 225, p. 167-174, 2000.

LE COINTE, P. **Árvores e plantas úteis (indígenas e aclimadas)**. São Paulo, Companhia Editora Nacional, 1947. 505p.

LIBERATO, M. A. R.; GONÇALVES, J. F. de C.; CHEVREUIL, L. R.; NINA JUNIOR, A. da R. FERNANDES, A. V.; SANTOS JUNIOR, U. M. dos. Leaf water potential, gas

Exchange and chlorophyll a fluorescence in acariquara seedlings (*Miquartia guianensis* Aubl.) under swater stress and recovery. **Brasilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 18, n. 2, p. 315-323, 2006.

LOPES, M. S.; NOGUÉS, S.; ARAUS, J. L. Nitrogen source and water regime effects on barley photosynthesis and isotope signature. **Functional Plant Biology**, Victoria, v. 31, p. 995–1003, 2004.

LOPES, M.S.; ARAUS, J.L. Nitrogen source and water regime effects on durum wheat photosynthesis and stable carbon and nitrogen isotope composition. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 126, p. 435–445, 2006.

MARQUES, L. S.; PAIVA, H. N. de; NEVES, J. C. L.; GOMES, J. M.; SOUZA, P. H. de. Crescimento de mudas de Jacaré (*Piptadenia gonoacantha* J.F. Macbr. em diferentes tipos de solos e fontes e doses de nitrogênio. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 81-92, 2009.

MARQUES, V.B.; PAIVA, H.N.; GOMES, J.M.; NEVES, J.C.L. Efeitos de fontes e doses de nitrogênio no crescimento de mudas de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.). **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.71, N. 2, p.77-85, 2006.

MATHEUS, M. T.; AMARAL, J. A. T.; SILVA, D. G. G.; NEVES, D. M.; PIZZOL, E. C. S.; SOUSA, F. C.; SANTI, G. C.; GUARIZ, H. R.; LIMA, K. A.; HOFFMANN, R. G.; Sintomas de deficiência nutricional em Jatobá. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, Garça, v. 17, n. 1, p. 89-97, 2011.

MELO, A. S. de; SILVA JÚNIOR, C. D. da; FERNANDES, P. D.; SOBRAL, L. F.; BRITO, M. E. B.; DANTAS J. D. M. Alterações das características fisiológicas da bananeira sob condições de fertirrigação. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 3, p.733-741, 2009.

MOCHIUTTI, S.; MELÉM JUNIOR, N. J.; FARIAS NETO, J. T.; QUEIROZ, J. A. L. Taxibranco (*Sclerolobium paniculatum*): Leguminosa arbórea para a recuperação de áreas degradadas pela agricultura migratória. Macapá: Embrapa Amapá. 1999. 5p. (Embrapa Amapá. **Comunicado Técnico**, 28).

MONTEIRO, M. T.; GAMA-RODRIGUES, E. F. Carbon, nitrogen, and microbial biomass activity in different litter structures of a natural forest. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 5, p. 819-826, 2004.

NASCIMENTO, H. H. C. DO; PACHECO, C. M.; LIMA, D. R. M. DE; SILVA, E. C. DA; NOGUEIRA, R. J. M. C. Aspectos ecofisiológicos de mudas de *Hymenaea courbaril* L. em resposta a supressão de N, P e K. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 103, p. 315-328, 2014.

NICOLOSO, F. T.; SARTORI, L.; JUCOSKI, G. de O.; ABREU, L. S. de; CERVI, F. G. Fontes de nitrogênio mineral (N-NO₃⁻ e N-NH₄⁺) no crescimento de mudas de grápia (*Apuleia leiocarpa* (Vog.) Macbride). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 3, p. 221-231, 2005.

OLIVEIRA JÚNIOR, V.M. 1997. **Crescimento e nutrição mineral de Táxi-branco-de-terra-firme (*Sclerolobium paniculatum* Vogel) micorrizadas e adubadas com diferentes fontes de fosfato natural.** 77 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, Belém.

PASSOS, M. A. A. **Efeito da calagem e de fósforo no crescimento inicial da algaroba (*Prosopis juliflora* (SW) DC).** 1994. 57f.. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1994.

PEUKE, A. D.; JESCHKE, W. D.; HARTUNG, W. Foliar application of nitrate or ammonium as sole nitrogen supply in *Ricinus communis*. II. The flows of cations, chloride and abscisic acid. **New Phytologist**, Oxford, v.140, p. 625-636, 1998.

PRIMAVESI, A.C.; PRIMAVESI, O.; CORRÊA, L.A.; CANTARELLA, H.; SILVA, A.G.; FREITAS, A.R.; VIVALDI, L.J. Adubação nitrogenada em capim *coastcross*: efeitos na extração de nutrientes e recuperação aparente do nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 68-78, 2004.

RAVEN, P. H., EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia vegetal.** 7. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2007.

SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. **Fisiologia Vegetal.** [S. l.]: México, 1994. 758 p.

SANTOS, D. M. A. dos. **Resposta Fisiológica e bioquímica do cafeeiro (*Coffea Arabica*, L.) cv. Catuai Vermelho IAC 144, em função de modos de aplicação e doses de nitrogênio.** Tese (Doutorado em Agronomia). 2011. 102p. Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2011.

SCHUBERT, S.; SCHUBERT, E.; MENGEL, K. Effect of low pH of the root medium on proton release, growth, and nutrient uptake of field beans (*Vicia faba*). **Plant and Soil**, Amsterdam, v. 124, n. 2, p. 239-244, 1990.

SCHUBERT, S.; YAN, F. Nitrate and ammonium nutrition of plants: effects on acid/base balance and adaptation of root cell plasmalemma H⁺ ATPase. **Zeitschrift fuer Pflanzenernaehrung und Bodenkunde**, Weinheim, v. 160, n. 2, p. 275-281, 1997.

SHIMAZAKI, K. I.; DOI, M.; ASSMANN, S. M.; KINOSHITA, T. Light regulation of stomatal movement. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 58, p.2019-247, 2007.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika**, London, v. 52, n. 3-4, p. 591-611, 1965.

SILVA, E. C. da; NOGUEIRA, R. J. M. C.; AZEVEDO NETO, A. D. de; SANTOS, V. F. dos. Comportamento estomático e potencial da água da folha em três espécies lenhosas cultivadas sob estresse hídrico. **Acta Botânica Brasileira**, v. 17, n. 2, p. 231-246, 2003.

SILVA, E. C., NOGUEIRA, R. J. M. C.; SILVA, M. A.; ALBUQUERQUE, M. B. Drought Stress and Plant Nutrition. **Plant Stress**, v. 5, (Special Issue 1), p. 32- 41, 2011.

SINCLAIR, T.R.; VADEZ, V. Physiological traits for crop yield improvement in low N and P environments. **Plant and Soil**, Netherlands, v. 245, n. 1/2, p. 1-15, 2002.

SIQUEIRA, J. O.; CARNEIRO, M .A. C.; CURI, N.; ROSADO, S. C. S.; DAVIDE, A. C. Mycorrhizal colonization and mycotrophic growth of native woody species as related to sucessional groups in Southeastern Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 107, n.1-3, p. 241-252, 1998.

STRONG, D. T.; SALE, P. W. G.; HELYAR, K. R. Initial soil pH affects the pH at which nitrification ceases due to self-induced acidification of microbial microsites. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v. 35, n. 3, p. 565-570, 1997.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**, 5.ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 954 p.

TEZARA, W.; MARIN, O.;; RENGIFO, E.; MARTINEZ, D.; HERRERA, A. Photosynthesis and photoinhibition in two xerophytic shrubs during drought. **Photosynthetica**, v. 43, n. 1, p. 37-45, 2005.

TROEH, F. R.; THOMPSON, L. M. **Soils and soil fertility**. 6. ed. Iowa: Blackwell, 2005. 489 p.

TUCCI, C. A. F., LIMA, H. N., LESSA, J. F. Adubação nitrogenada na produção de mudas de mogno (*Swietenia macrophylla* King). **Acta Amazonica**, vol. 39, n. 2, p. 289-294, 2009.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia Básica e Aplicações**. Viçosa: Editora UFV, 1991. 446 p.

VIEIRA, A. H.; LOCATELLI, M.; FRANÇA, J. M.; CARVALHO, J. O. M. **Crescimento de mudas de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby sob diferentes níveis de nitrogênio, fósforo e potássio**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2006. 17 p. (Série Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento).

ZHANG, S.; LI, Q.; MA, K.; CHEN, L. Temperaturedependent gas exchange and stomatal/non-stomatal limitation to CO₂ assimilation of *Quercus liaotungensis* under midday higher irradiance. **Photosynthetica**, Prague, v.39, n. 3, p. 383-388, 2001.

5. RESPOSTA BIOQUÍMICA DE MUDAS DE *Tachigali vulgaris* L.G. Silva & H.C. Lima EM FUNÇÃO DE FONTES E DOSES DE NITROGÊNIO

RESUMO

O presente trabalho objetivou avaliar os efeitos da aplicação de fontes e doses de nitrogênio na resposta bioquímica de mudas de *Tachigali vulgaris* L. G. Silva & H. C. Lima. O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal Rural da Amazônia, em Belém, Pará, no período de abril a julho de 2015. As mudas foram cultivadas em vasos contendo 3 dm³ de solo, em casa de vegetação. As fontes de nitrogênio testadas foram ureia [(NH₂)₂CO], nitrato de amônio (NH₄NO₃), sulfato de amônio [(NH₄)₂SO₄] e nitrato de cálcio [Ca(NO₃)₂], em cinco doses de 0, 75, 150, 225 e 300 mg/dm³, aplicadas na forma de solução em quatro porções, aos 25, 50, 75 e 100 dias após o transplante. A unidade experimental foi constituída por um vaso e o delineamento experimental em blocos casualizados (DBC), em esquema fatorial (4 x 5), correspondendo a 4 fontes e 5 doses, com quatro repetições, totalizando 80 vasos. As análises bioquímicas foram realizadas ao término do experimento e foram determinados os teores de nitrato, atividade da enzima redutase do nitrato, amônio livre, aminoácidos solúveis totais, proteínas solúveis totais, carboidratos e clorofilas. Houve redução na concentração de proteínas com o nitrato de amônio e nitrato de cálcio, podendo estar relacionada a formação de espécies reativas de oxigênio (EROs), pelo excesso de NO₃⁻, provocando danos aos fotossistemas pela inibição da síntese de proteínas. O acúmulo de aminoácidos na folha e raiz foi influenciado positivamente pela aplicação de N, ocorrendo a máxima acumulação com a fonte nitrato de amônio, em doses próximas de 225 mg dm⁻³. O crescimento de mudas de *T. vulgaris* é afetado pela presença de ambas as formas de nitrogênio mineral (N-NO₃⁻ e N-NH₄⁺) na adubação, sendo que a combinação das duas formas de N apresentou a maior média da atividade da enzima nitrato redutase e maior incremento do teor de clorofila total, em doses próximas de 225 mg dm⁻³.

Palavras-chave: Espécie florestal. Solutos orgânicos. Pigmentos fotossintéticos.

BIOCHEMICAL RESPONSE OF SEEDLINGS OF *Tachigali vulgaris* L. G. Silva & H. C. Lima IN FUNCTION OF SOURCES AND DOSES OF NITROGEN

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the effects of applying sources and increasing levels of nitrogen on growth and gas exchange in seedlings of *Tachigali vulgaris* L.G. Silva & H.C. Lima. The experiment was conducted in a greenhouse of the Institute of Agricultural Sciences at the Federal Rural University of Amazonia in Belém, Pará, in the period from April to July 2015. The seedlings were grown in pots containing 3 dm³ of soil, in a greenhouse. Nitrogen sources tested were urea [(NH₂)₂CO], ammonium nitrate (NH₄NO₃), ammonium sulfate [(NH₄)₂SO₄] and calcium nitrate [Ca(NO₃)₂], in five doses of 0, 75, 150, 225 and 300 mg / dm, applied as a solution in four portions, 25, 50, 75 and 100 days after transplanting. The experimental unit consisted of a vase and a randomized block design (RBD) in factorial (4 x 5), corresponding to 4 sources and 5 doses, with four repetitions, totaling 80 vessels. Biochemical analyzes were performed at the end of the experiment and were determined the levels of nitrate, nitrate reductase enzyme activity, free ammonia, total soluble amino acids, soluble proteins, carbohydrates and chlorophylls. There was a reduction in the concentration of proteins with ammonium nitrate and calcium nitrate, which can be related to the formation of reactive oxygen species (ROS), the excess NO₃⁻, causing damage to the photosystems by inhibition of protein synthesis. The accumulation of amino acids in the leaf and root was positively influenced by the application of N, the maximum accumulation occurring with the source ammonium nitrate, in nearby doses of 225 mg dm⁻³. Growth of *T. vulgaris* seedlings is affected by the presence of both forms of mineral nitrogen (N-NO₃⁻ and N-NH₄⁺) in the fertilizer, and the combination of both forms of N had the highest average activity of the enzyme nitrate reductase and greater increase in total chlorophyll content, in nearby doses of 225 mg dm⁻³.

Keywords: Forest species. Organic solutes. Photosynthetic pigments.

5.1 Introdução

O tachi-branco (*Tachigali vulgaris* L. G. Silva & H. C. Lima, Leguminosae Caesalpinioideae) é uma espécie que reúne características promissoras para plantios energéticos, na Amazônia brasileira e regiões limítrofes (CARPANEZZI et al., 1983). Embora as informações disponíveis sejam escassas, sua madeira é considerada de boas características para lenha e carvão (LE COINTE, 1947; DUCKE, 1949), pois possui características similares a madeira de eucalipto, como o rendimento de peso e volume no processo de carbonização (LIMA, 2004) e poder calorífico superior do carvão vegetal (JARA, 1989; VALE et al., 2002). Aliado a isso, tem-se elevados valores de incremento anual, alcançando 2,5 m ano e 3,4 cm ano em altura e diâmetro, respectivamente, a pleno sol (Yared, 1990). Estima-se uma rotação de 5 a 10 anos para plantios com fins energéticos.

A produção de mudas florestais, em qualidade e quantidade, é uma das fases mais importantes para o estabelecimento de povoamentos florestais com espécies nativas, estando condicionado pelo uso de sementes de qualidade, substratos de cultivo apropriados e uma fertilização adequada, uma vez que, de acordo com SCHEER *et al.* (2010), os substratos comerciais nem sempre fornecem quantidades satisfatórias de nutrientes, sendo que, quando enriquecidos com fertilizantes têm sua eficiência aumentada. Associado ao tipo de recipiente e substrato, a aplicação de nutrientes, especialmente os macronutrientes no crescimento das mudas, têm despertado o interesse de vários pesquisadores florestais, e vários trabalhos vêm sendo conduzidos no sentido de se conhecer a melhor forma de fertilização em espécies florestais para uma correta recomendação. O emprego de fertilizantes químicos é, portanto, uma prática usual nos viveiros florestais, funcionando como uma valiosa ferramenta no controle do tamanho e vigor das mudas (RIBEIRO et al., 2001).

Como um componente chave de muitas macromoléculas, incluindo as proteínas e os ácidos nucleicos, o nitrogênio é essencial para o crescimento normal e desenvolvimento de plantas (SINFIELD et al., 2010). No metabolismo das plantas, participa como constituinte de proteínas, coenzimas, ácidos nucléicos, citocromo, clorofila, pigmentos e produtos secundários (SILVA et al., 2007). Quando há deficiência deste nutriente no substrato de crescimento, ele é translocado das folhas mais velhas para as partes mais jovens da planta. Além disso, afeta as taxas de iniciação e expansão foliar,

o tamanho final e a intensidade de senescência das folhas (SCHRODER et al., 2000). Apesar da importância desse nutriente, de acordo com DAVIES (2000), são poucos os estudos em plantas envolvendo este elemento químico.

A forma de absorção do nitrogênio (N) (amoniacoal ou nítrica), influencia em vários processos fisiológicos e bioquímicos das plantas, como fotossíntese e atividades enzimáticas do metabolismo do N (CRUZ et al., 2011; BORGOGNONE et al., 2013), no desenvolvimento e na morfologia (ZHU et al., 2000), variando com a espécie e variedade do vegetal (LASA et al., 2002).

Em muitos sistemas de produção, a disponibilidade de nitrogênio é quase sempre um fator limitante, influenciando o crescimento da planta mais do que qualquer outro nutriente (BREDEMEIER; MUNDSTOCK, 2000). Dessa forma, tem-se procurado diminuir as perdas do nitrogênio no solo, dada sua importância e alta mobilidade, buscando melhorar a absorção e a metabolização do N no interior da planta, no sentido de maximizar a eficiência do seu uso.

As pesquisas científicas atuais estão voltadas para a utilização econômica de fertilizantes, sendo de máxima importância à avaliação de fatores que interferem nos processos do ciclo do nitrogênio assim como os fatores associados à tecnologia de uso das fontes nitrogenadas, para minimizar as perdas do sistema solo-planta (CANTARELLA, 2007). Certamente, existe a necessidade permanente de ações que levem a um incremento substancial no uso eficiente do nitrogênio, mas, principalmente, de ações que permitam maior implementação de tecnologias que propiciem maior eficiência das adubações nitrogenadas. Isto é fundamental quando se almeja aumentar a produtividade com sustentabilidade (LOPES; BASTOS; DAHER, 2007).

Dessa forma, o presente trabalho objetivou avaliar os efeitos da aplicação de diferentes fontes e doses de nitrogênio na resposta bioquímica de mudas de *Tachigali vulgaris* L. G. Silva & H. C. Lima.

5.2 Material e métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal Rural da Amazônia, em Belém, Pará, no período de abril a julho de 2015. Diariamente, foram tomadas medidas da temperatura do ar (Tar) e umidade relativa do ar (UR %) no interior da casa de vegetação com um termohigrômetro,

e posteriormente calculado o Déficit de Pressão de Vapor do ar (DPV), segundo Vianello e Alves (1991), como pode ser visualizado nas figuras 1A, 1B e 1C.

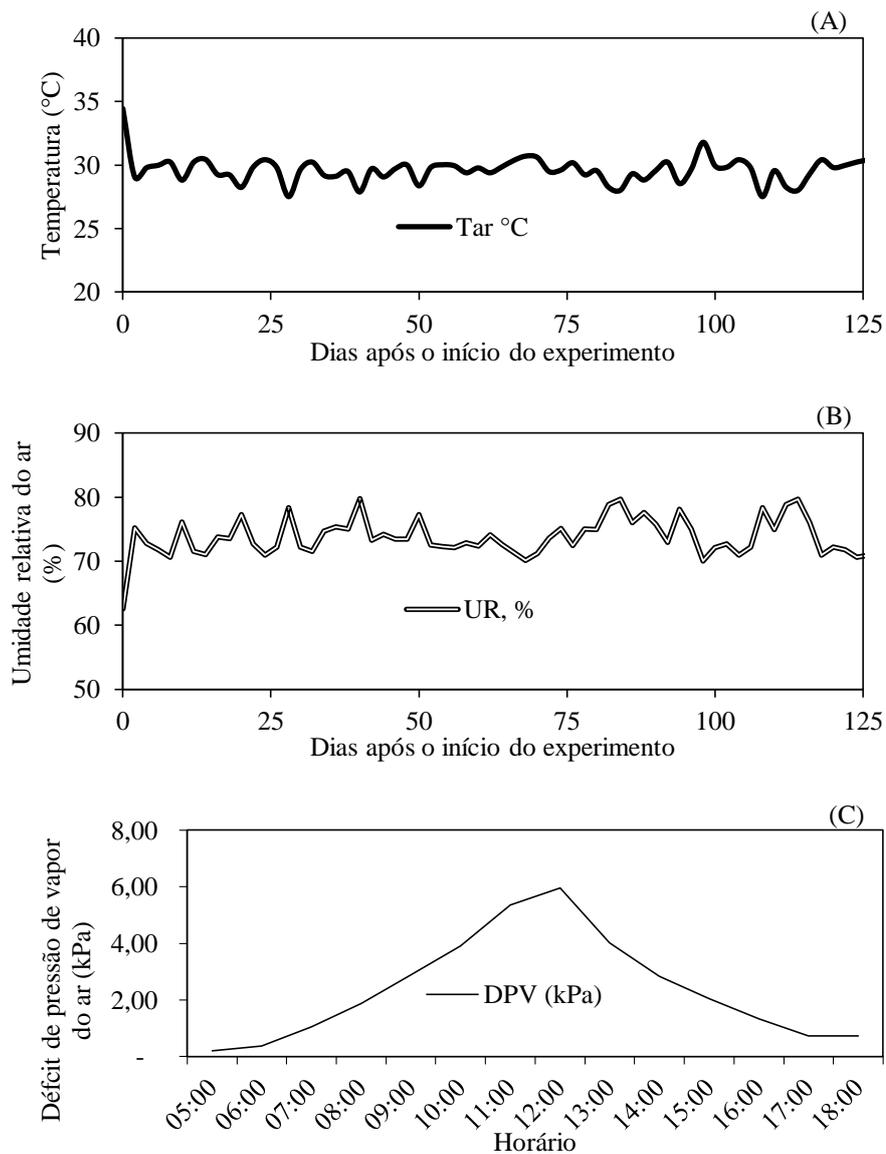


Figura 17. Valores médios de temperatura (A) e umidade relativa do ar (B), ocorridas durante o período experimental, e déficit de pressão de vapor do ar (C), dentro da casa de vegetação.

5.2.1 Caracterização e preparo do solo

O solo utilizado como substrato, do tipo Latossolo Amarelo, foi caracterizado quimicamente (Tabela 1), através de análise realizada pelo Instituto Brasileiro de Análises (IBRA).

Tabela 4. Resultado da análise química do substrato utilizado no experimento, antes da correção.

Identificação	P	MO	pH	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB	T	V	m
	mg dm ⁻³	g dm ⁻³	CaCl ₂				mmolc dm ⁻³				%	%
Substrato	8,7	29	3,8	0,5	2	1	49	14	4,3	53,3	8	76,5

O solo utilizado como substrato foi seco ao ar, peneirado em malha de 5 mm e efetuada a correção da acidez, utilizando-se uma mistura de CaCO₃ e MgCO₃, na relação estequiométrica de 4:1. A necessidade de calagem foi calculada com base na análise química do solo, presente da tabela 1, com o objetivo de elevar a saturação por bases a 60%. Após incorporação do corretivo, as amostras de solo foram acondicionadas em sacos plásticos mantidos abertos e incubadas por um período de 30 dias, visando manter o teor de umidade das amostras à capacidade de campo.

Após 30 dias, os solos receberam adubação básica de macronutrientes via solução, nas seguintes doses: P = 300 mg/dm³, K = 100 mg/dm³ e S = 40 mg/dm³, tendo como fontes NaH₂PO₄.H₂O, KCl e K₂SO₄ conforme sugerido por PASSOS (1994). E ainda, uma solução de micronutrientes, nas seguintes doses: B = 0,81 mg dm⁻³ (H₃BO₃), Cu = 1,33 mg dm⁻³ (CuSO₄.5H₂O), Mo = 0,15 mg dm⁻³ [(NH₄)₆Mo₇O₂₄.4H₂O], Mn = 3,66 mg dm⁻³ (MnCl₂.H₂O) e Zn = 4,0 mg dm⁻³ (ZnSO₄.7H₂O) (ALVAREZ et al., 2006). Após isso, o substrato foi acondicionado em vasos plásticos, com capacidade de 3 dm³/vaso.

5.2.2 Produção das mudas

As sementes de Taxi-branco (*Tachigali vulgaris*) foram obtidas no setor de sementes florestais da Embrapa Amazônia Oriental, colhidas em matrizes localizadas no município de Paragominas-PA (2° 59' 51"S; 47° 21' 13"W) e colocadas para germinar em sementeiras, com areia lavada como substrato.

A espécie apresenta dormência tegumentar, dessa forma, é necessária a aplicação de tratamento pré-germinativo para promover, acelerar e uniformizar a germinação das sementes da espécie. Para superar a dormência, foi realizada a remoção de uma pequena porção do tegumento na extremidade oposta ao eixo embrionário (desponte), para facilitar o processo de embebição da semente e assim dar início a germinação

Após 30 dias do início da germinação, foram transplantadas 2 plântulas por vaso, com capacidade de 3 dm³ de solo. Decorridos mais 30 dias, um desbaste foi realizado, deixando-se apenas uma planta por vaso.

5.2.3 Tratamentos e delineamento experimental

As fontes de nitrogênio testadas foram ureia [CO(NH₂)₂], que possui 45% de N; sulfato de amônio [(NH₄)₂SO₄], que possui 21% de N e 23% de enxofre; nitrato de amônio (NH₄NO₃), que possui 33,5% de N, metade na forma nítrica e metade na amoniacal; e nitrato de cálcio [Ca(NO₃)₂], que possui 15,5% de N e 19% de cálcio. Os fertilizantes foram aplicados em cinco doses de 0, 75, 150, 225 e 300 mg dm⁻³ de N, na forma de solução e em quatro porções iguais, aos 25, 50, 75 e 100 dias após o transplante para os vasos.

A unidade experimental foi constituída por um vaso, contendo 3 dm³ de solo, com uma muda. O delineamento experimental adotado constitui-se em blocos casualizados (DBC), em esquema fatorial (4 x 5), correspondendo a 4 fontes de nitrogênio e 5 doses, com quatro repetições, totalizando 80 vasos. O material vegetal para a realização das análises bioquímicas foi coletado ao término do experimento, 100 dias após o início dos tratamentos.

5.2.4 Análises bioquímicas

As análises bioquímicas foram realizadas no Laboratório de Estudos da Biodiversidade em Plantas Superiores (EBPS), localizado na Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Belém, Pará. Para tanto, foram determinados os teores de nitrato (NO₃⁻) (CATALDO et al., 1975); atividade a enzima redutase do nitrato (RNO₃⁻) (HAGEMAN; HUCKLESBY, 1971); amônio livre (NH₄⁺) (WEATHERBURN, 1967); aminoácidos solúveis totais (AAST) (PEOPLES et al., 1989); proteínas solúveis totais (PST) (BRADFORD, 1976); amido (DUBOIS et al., 1956); carboidratos (DUBOIS et al., 1956); sacarose (VAN HANDEL, 1968) e; clorofilas (LICHTHENTHALER, 1987).

5.2.5 Análise estatística

Inicialmente, os dados do experimento foram submetidos aos testes de Shapiro-Wilks (SHAPIRO; WILKS, 1965) e de Levene (BOX, 1953) para verificação da normalidade dos dados e homocedasticidade dos resíduos, respectivamente. Posteriormente, havendo atendimento as pressuposições de normalidade e homocedasticidade dos dados, realizou-se a análise de variância para as médias dos tratamentos ($p < 0,05$) (STEEL; TORRIE, 1960).

Foi realizada a análise de variância e, em função da significância do teste F para a interação dos fatores Fontes x Doses de nitrogênio, foram realizados os desdobramentos para avaliar o efeito das doses (quantitativo) dentro de cada fonte de nitrogênio (qualitativo), por meio de regressões polinomiais de primeiro e segundo graus. Nos casos em que a interação Fontes de nitrogênio x doses de nitrogênio não foi significativa ($p > 0,05$) os fatores foram analisados separadamente.

Assim, os efeitos devido às fontes de nitrogênio foram comparados pelo teste de Tukey e o estudo dos efeitos das doses de nitrogênio foi realizado por meio de regressões polinomiais de primeiro e segundo graus. Foi utilizado o nível de significância de 5% em todos os testes estatísticos. Na escolha das equações de regressão, considerou-se a significância dos coeficientes e o coeficiente de determinação (R^2).

5.3 Resultados e discussão

Os dados de temperatura do ar (Tar), umidade relativa do ar (UR %) e Déficit de Pressão de Vapor do ar (DPV) no interior da casa de vegetação, tomados no período do experimento, podem ser visualizados nas figuras 1A, 1B e 1C.

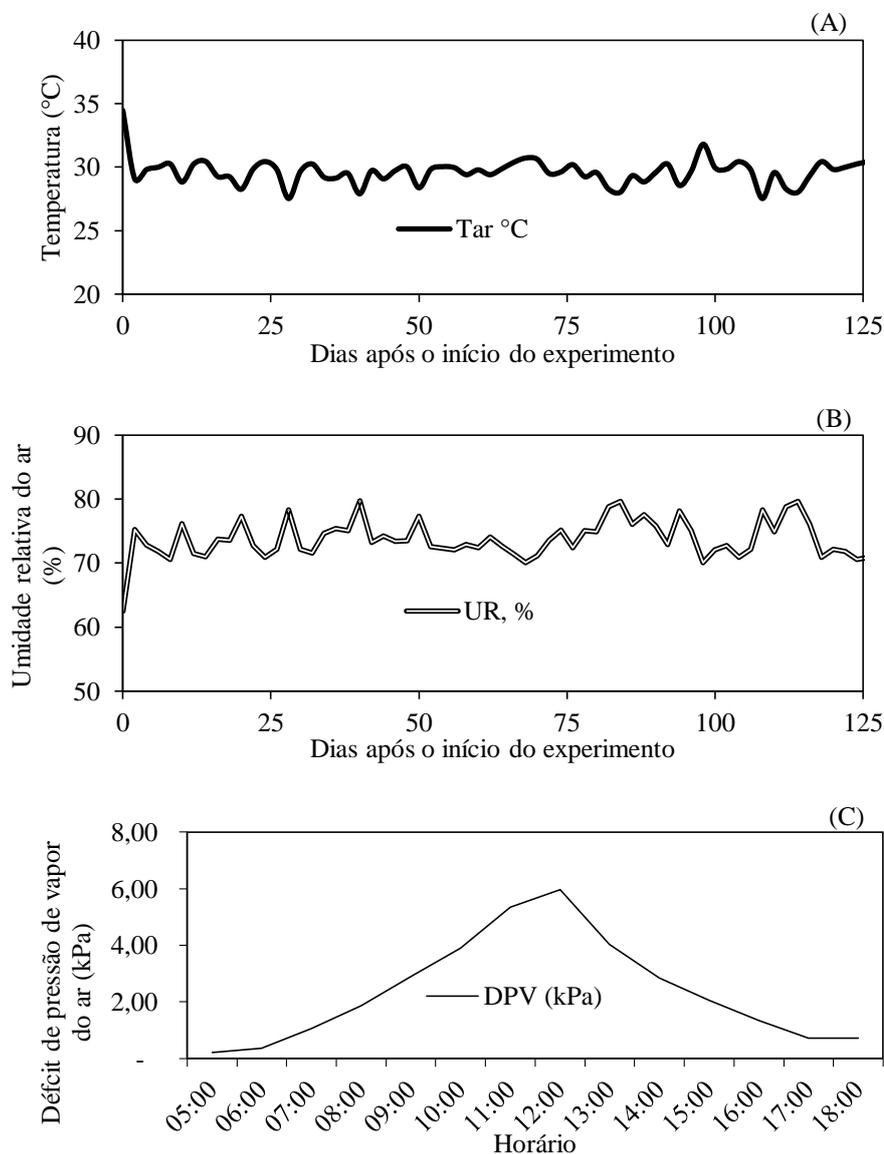


Figura 18. Valores médios de temperatura (A) e umidade relativa do ar (B), ocorridas durante o período experimental, e déficit de pressão de vapor do ar (C), dentro da casa de vegetação.

De maneira geral, observa-se que a aplicação dos tratamentos, correspondentes a quatro fontes de nitrogênio em doses crescentes, afetou de forma significativa a maioria das características bioquímicas em mudas de *T. vulgaris*, confirmando o efeito do N sobre

a espécie. A ausência de fertilização ou a adição de N em doses elevadas, foi considerada limitante, provocando modificações no metabolismo das mudas no período de avaliação.

Aos 100 dias após o início dos tratamentos, observou-se efeito significativo da interação fonte x dose ($p \leq 0,05$) para o acúmulo de nitrato, atividade da enzima redutase do nitrato e acúmulo de amônio, na folha e raiz (Tabela 5).

Tabela 5. Resumo da análise de variância para o teor de nitrato, atividade da enzima nitrato redutase e teor de amônio, na produção mudas de *T. vulgaris* submetidas aos tratamentos.

FV	GL	Quadrado Médio					
		Nitrato FOLHA	Nitrato RAIZ	Redutase FOLHA	Redutase RAIZ	Amônio FOLHA	Amônio RAIZ
Bloco	3	0,0006562 ^{NS}	0,0002920 ^{NS}	0,234 ^{NS}	0,0212 ^{NS}	20,45 ^{NS}	68,3 ^{NS}
Fonte (F)	3	0,0211528 *	0,0007928 *	23,546 *	2,6432 *	1110,58 *	5043,9 *
Dose (D)	4	0,0210915 *	0,0015897 *	17,004 *	2,7231 *	791,2 *	9516,3 *
F x D	12	0,0035733 *	0,0004139 *	16,358 *	2,5065 *	339,88 *	1128 *
Resíduo	57	0,0005666	0,000153	0,979	0,1125	50,37	224,7
CV (%)		37,33	41,88	152,46	177,15	80,48	47,09

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

^{NS} Não-significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste F.

A interação dos fatores fontes x doses de nitrogênio foi significativa ($p \leq 0,05$) para as concentrações de nitrato e amônio nas folhas e raízes das mudas de *T. vulgaris* (Tabela 5). A concentração de nitrato apresentou ajuste quadrático em resposta às doses de nitrogênio das fontes nitrato de amônio e nitrato de cálcio, na folha (Figura 18); sulfato de amônio e nitrato de amônio, na raiz (Figura 19). Na folha, o acúmulo de nitrato apresentou comportamento semelhante para o suprimento de N com nitrato mais amônio e apenas nitrato, com variação de apenas 12,4% entre as médias de nitrato de cálcio (0,13 mmol de $\text{NO}_3^-/\text{kg MS}$) e nitrato de amônio (0,11 mmol de $\text{NO}_3^-/\text{kg MS}$), demonstrando que a presença do NH_4^+ não influenciou no acúmulo de nitrato nas folhas, no presente estudo. Na raiz, foram observados ajustes quadráticos, entretanto com a concavidade da curva diferente, demonstrando que a máxima concentração de nitrato seria observada em doses de N mais elevadas do que as estudadas, para nitrato de amônio e sulfato de amônio (Figura 19). As demais fontes não apresentaram significância para o ajuste do modelo de regressão ($p > 0,05$).

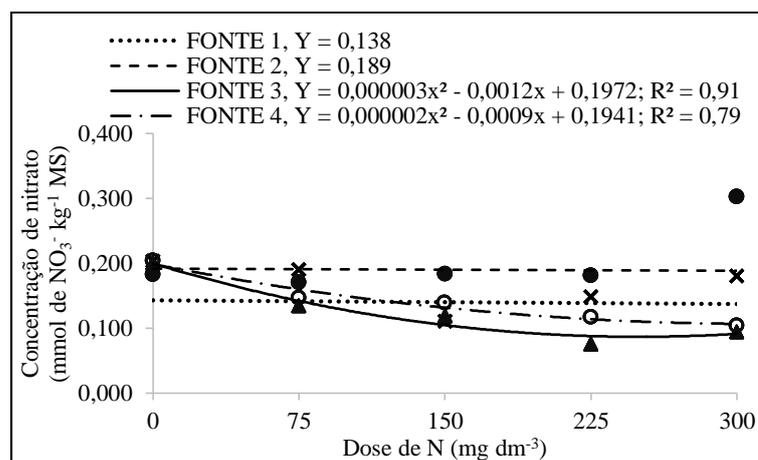


Figura 19. Concentração de nitrato acumulada nas folhas de mudas de *T. vulgaris* em função das fontes e doses de nitrogênio (FONTE 1 = ureia; FONTE 2 = sulfato de amônio; FONTE 3 = nitrato de amônio e FONTE 4 = nitrato de cálcio), ao final do experimento ($\alpha = 0,05$).

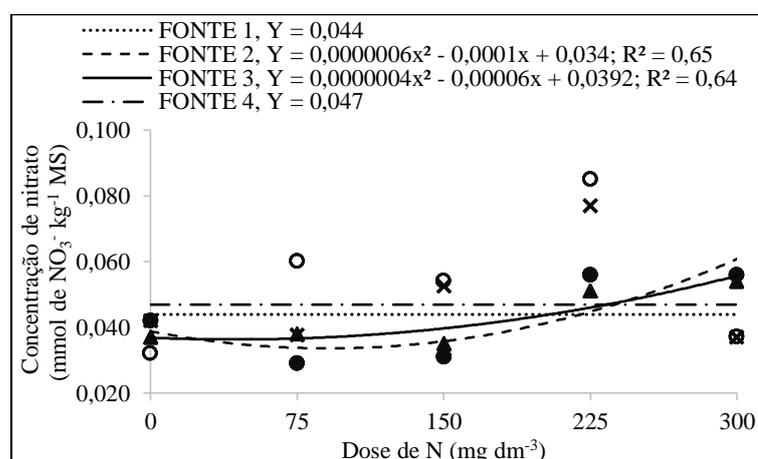


Figura 20. Concentração de nitrato acumulada nas raízes de mudas de *T. vulgaris* em função das fontes e doses de nitrogênio (FONTE 1 = ureia; FONTE 2 = sulfato de amônio; FONTE 3 = nitrato de amônio e FONTE 4 = nitrato de cálcio), ao final do experimento ($\alpha = 0,05$).

A absorção de N na forma nítrica requer processos de redução para posterior incorporação em compostos orgânicos, de forma que o nitrato é reduzido a nitrito pela enzima nitrato redutase, e o nitrito a amônia pela nitrito redutase, este processo consome grande quantidade de energia, carbono e prótons (BUCHANAN et al., 2000). O excesso de nitrato é tolerável pela maioria das plantas, pois seus íons são acumulados nos vacúolos, não apresentando sintomas de toxicidade às plantas, podendo até desempenhar funções osmóticas (LASA et al., 2001). A acumulação desta forma de N nos vegetais ocasiona danos aos humanos e aos animais que os consumirem (SANTAMARIA, 2006).

Para a atividade da enzima redutase do nitrato (RNO_3^-), a interação entre fontes e doses de nitrogênio foi significativa ($p \leq 0,05$) (Tabela 5). Na folha, apenas para ureia; na

raíz, apenas para o nitrato de amônio. As demais fontes, para folha e raiz, não apresentaram interação significativa dos fatores (F x D) no ajuste do modelo de regressão ($p > 0,05$).

A atividade da RNO_3^- na folha apresentou certa variação, considerando os valores médios, variando de 0,34 a 0,17 $\mu\text{mol de NO}_2^- \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ com o incremento da dose 0 para 300 mg dm^{-3} de nitrogênio, ou seja, a dose máxima de N exerceu efeito negativo sobre a atividade da enzima (Figura 20). Através da equação de regressão verificou-se que o valor máximo para a atividade da RNO_3^- na folha foi de 1,31 $\mu\text{mol de NO}_2^- \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ com o fornecimento da dose 170 mg dm^{-3} de N. A partir dessa dose, o aumento no fornecimento de nitrogênio promoveu decréscimo da atividade da enzima. Entre as médias de cada fonte, a maiores foram observadas no nitrato de amônio (1,59 $\mu\text{mol de NO}_2^- \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$) e nitrato de cálcio (1,09 $\mu\text{mol de NO}_2^- \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$), justamente as fontes fornecedoras de NO_3^- , seguidas por ureia (0,59 $\mu\text{mol de NO}_2^- \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$) e sulfato de amônio (0,28 $\mu\text{mol de NO}_2^- \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$).

A aplicação do nitrogênio, utilizando como fonte a ureia, considerando as maiores doses do experimento (225 e 300 mg dm^{-3}) pode ter ocasionado maior excreção de íons H^+ pelas raízes das mudas de *T. vulgaris* e, conseqüentemente, a acidificação do pH do solo e a diminuição da disponibilidade de molibdênio. Com a diminuição do pH, o molibdênio torna-se indisponível para a planta, e, em casos de deficiência de molibdênio, a atividade da enzima redutase do nitrato em plantas é reduzida, juntamente com o conteúdo de óxido nítrico (XU; ZHAO, 2003). Apesar da pequena quantidade absorvida pela planta, o molibdênio é considerado essencial por fazer parte de duas enzimas: a redutase do nitrato e a nitrogenase (DECHEN et al., 1991). O pH da rizosfera diminui com a absorção de NH_4^+ , causando exsudação de H^+ pelas raízes para manter a eletroneutralidade ou o balanço de cargas dentro da planta (HAVLIN et al., 2005).

Diferenças em duas unidades de pH têm sido observadas na absorção de NH_4^+ em relação a absorção de NO_3^- (HAVLIN et al., 2005). Essa acidificação observada para a absorção de NH_4^+ pode afetar a disponibilidade e a atividade biológica de vários nutrientes na zona radicular (VIANA; KIEHL, 2010). Resultados semelhantes ao encontrado no presente trabalho foram observados por Viana e Kiehl (2010) em *Triticum aestivum* L. e Silva et al. (2011) em *Zea mays*, onde a aplicação de N utilizando a fonte ureia, proporcionou efeito quadrático para a atividade a enzima redutase do nitrato na

folha, onde foi observado um pico de atividade máxima nas doses intermediárias e o decréscimo da atividade com o aumento das doses.

A atividade da enzima nitrato redutase na raiz, como pode ser observado na Figura 21, apresentou efeito quadrático e aumentou com o incremento das doses de N, utilizando o nitrato de amônio, confirmando que a presença de NO_3^- no solo favorece a atividade da enzima. Resultado semelhante foi encontrado por Rojas (2012), avaliando a aplicação de nitrato em variedades de cana-de-açúcar, em que foi observado o aumento da atividade da enzima em função do aumento das doses de NO_3^- . Em relação aos efeitos da combinação de NO_3^- e NH_4^+ , de acordo com Asher e Edwards (1983), uma propriedade importante da formula de Hoagland modificada é que o nitrogênio é suprido tanto na forma de amônio (NH_4^+) quanto de nitrato (NO_3^-), sendo que suprir nitrogênio em mistura balanceada de cátions e ânions tende a reduzir o rápido aumento no pH do meio.

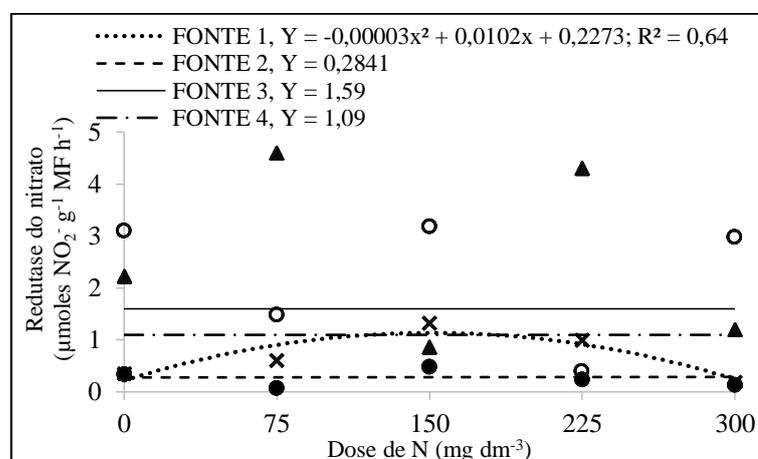


Figura 21. Atividade da enzima redutase do nitrato nas folhas de mudas de *T. vulgaris* em função das fontes e doses de nitrogênio (FONTE 1 = ureia; FONTE 2 = sulfato de amônio; FONTE 3 = nitrato de amônio e FONTE 4 = nitrato de cálcio), ao final do experimento ($\alpha = 0,05$).

Mengel e Kirkby (2001) e Munzarova et al. (2006) relataram que a atividade da enzima redutase do nitrato é influenciada, além da luminosidade e da temperatura, pela concentração de nitrato no substrato. Em plantas de arroz, Cao et al. (2008) encontraram mais elevada atividade da enzima redutase do nitrato quando supridas com NO_3^- e NH_4^+ , do que com a aplicação isolada dessas formas de nitrogênio. Em folhas de *Phaseolus vulgaris*, valores mais baixos de atividade da enzima redutase do nitrato foram observados em plantas supridas com amônio do que com ureia como formas exclusivas de nitrogênio (TIMPO; NEYRA, 1983).

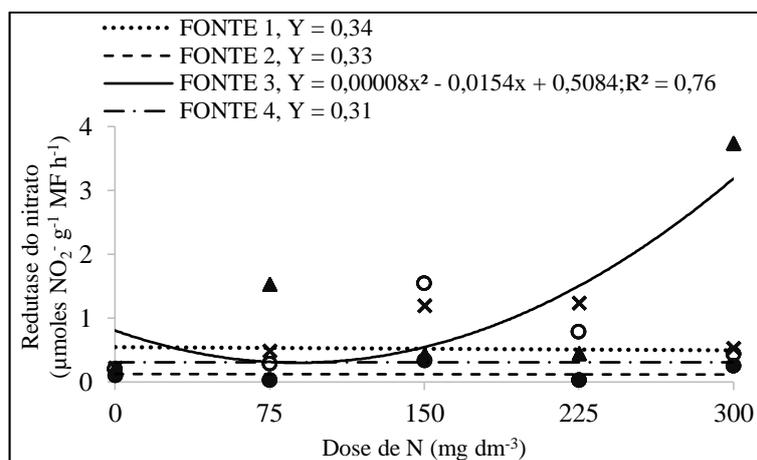


Figura 22. Atividade da enzima redutase do nitrato nas raízes de mudas de *T. vulgaris* em função das fontes e doses de nitrogênio (FONTE 1 = ureia; FONTE 2 = sulfato de amônio; FONTE 3 = nitrato de amônio e FONTE 4 = nitrato de cálcio), ao final do experimento ($\alpha = 0,05$).

A atividade da redutase do nitrato é a principal limitante da assimilação de nitrogênio pela planta e essa atividade é dependente da forma do nitrogênio e do contínuo transporte de nitrato pelo xilema (KAWACHI et al., 2002). Yang et al. (2012), verificaram a influência das formas de N na atividade enzima redutase do nitrato, em que o fornecimento de doses de ureia incrementou a atividade da enzima em folhas de arroz.

A concentração de amônio nas folhas apresentou ajuste linear positivo apenas para o nitrato de amônio, sendo assim, o fornecimento de NO_3^- mais NH_4^+ proporcionou elevação da concentração de amônio nas folhas com o aumento das doses de N (Figura 22). As demais fontes não apresentaram significância para o ajuste do modelo de regressão ($p > 0,05$). Entretanto, ao analisar as médias de acumulação de amônio para cada fonte, observa-se que a aplicação de ureia foi superior as demais, para o incremento dessa variável. As médias foram: 81,80, 64,08, 77,50 e 46,50 mmol de NH_4^+ kg⁻¹ MS para ureia, sulfato de amônio, nitrato de amônio e nitrato de cálcio, respectivamente.

Nas raízes, para todas as fontes foi possível o ajuste dos modelos de regressão (Figura 23). Assim como observado na folha, nitrato de amônio também apresentou ajuste ao modelo linear positivo. As demais, ureia, sulfato de amônio e nitrato de cálcio apresentaram efeito quadrático do acúmulo de amônio em função das doses de N. As doses de máxima acumulação encontradas para as fontes que apresentaram efeito quadrático, foram de 261,38 (171,30 mmol de NH_4^+ kg⁻¹ MS), 242 (98,41 mmol de NH_4^+ kg⁻¹ MS) e 278,17 mg dm⁻³ (70,12 mmol de NH_4^+ kg⁻¹ MS) para a ureia, sulfato de amônio e nitrato de cálcio, respectivamente. Corroborando com os resultados do presente trabalho, em plantas de *Manihot esculenta* Crantz, Cruz et al. (2008) observaram que a concentração de amônio livre nas raízes foi maior nas plantas cultivadas apenas com

NH_4^+ , em detrimento ao cultivo com $\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$ ou apenas com nitrato, evidenciando maior absorção e retenção de parte significativa desse íon, ocorrendo também concentrações de amônio livre das raízes maiores do que das folhas. Entretanto, segundo o mesmo autor, as concentrações de nitrato também foram superiores nas raízes do que nas folhas, o que não aconteceu para as mudas de *T. vulgaris*, onde a concentração máxima de NO_3^- na folha (0,201 mmol de $\text{NO}_3^- \text{ kg}^{-1} \text{ MS}$) foi maior que a concentração máxima na raiz (0,063 mmol de $\text{NO}_3^- \text{ kg}^{-1} \text{ MS}$). Esses resultados podem indicar que as folhas são os sítios preferenciais de redução do NO_3^- , em virtude da atividade da enzima redutase do nitrato relativamente alta, o que explica essa maior concentração de nitrato das folhas em relação à concentração das raízes.

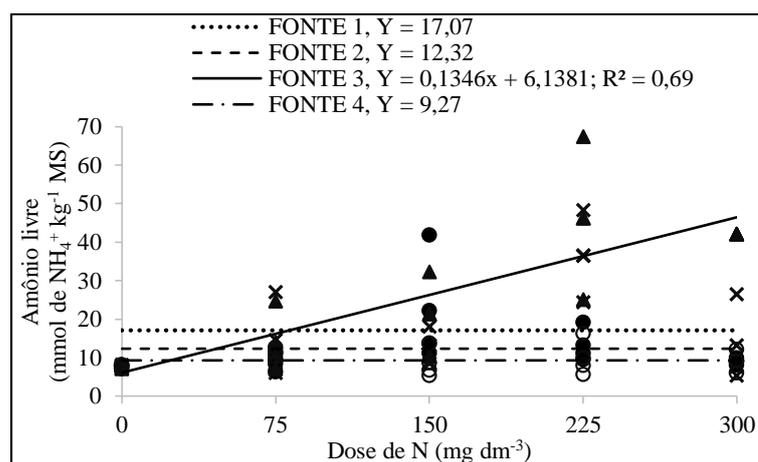


Figura 23. Concentração de amônio livre acumulado nas folhas de mudas de *T. vulgaris* em função das fontes e doses de nitrogênio ($\alpha = 0,05$). (FONTE 1 = ureia; FONTE 2 = sulfato de amônio; FONTE 3 = nitrato de amônio e FONTE 4 = nitrato de cálcio), ao final do experimento ($\alpha = 0,05$).

A absorção de N na forma amoniacal pode ter como vantagem o N estar na forma reduzida, no entanto o fluxo de amônio é de difícil controle, devido à necessidade da homeostase celular do elemento, pelo fato do excesso dessa forma induzir a toxicidade aos vegetais (LOQUE et al., 2004). A toxicidade por amônio ocasiona mudanças bioquímicas e fisiológicas na planta, podendo induzir a deficiência de nutrientes devido a desequilíbrios metabólicos (GERENDAS et al., 1997), aumento no conteúdo de O_2 e H_2O_2 , ocasionando o estresse oxidativo e menores teores de clorofila e de carotenóides (WANG et al., 2010), além de severas alterações no metabolismo da planta, como menores taxas de fotossíntese, condutância estomática e transpiração (SU et al., 2012; BORGOGNONE et al., 2013). Em condições favoráveis para o crescimento das plantas, o NH_4^+ é rapidamente convertido em NO_3^- pela ação dos microrganismos do solo, assim, os fertilizantes fornecedores de NH_4^+ também podem causar danos pela geração excessiva de espécies reativas de oxigênio (EROs).

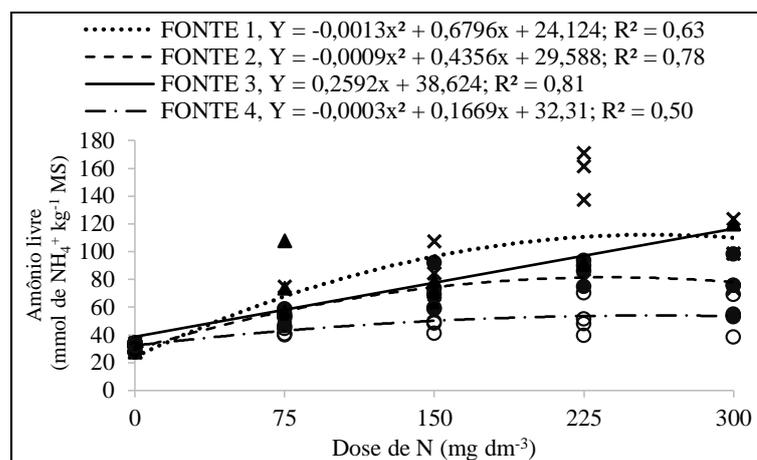


Figura 24. Concentração de amônio livre acumulado nas raízes de mudas de *T. vulgaris* em função das fontes e doses de nitrogênio ($\alpha = 0,05$). (FONTE 1 = ureia; FONTE 2 = sulfato de amônio; FONTE 3 = nitrato de amônio e FONTE 4 = nitrato de cálcio), ao final do experimento ($\alpha = 0,05$).

São diversos os sintomas ocasionados pelo excesso de amônio, que podem ocorrer em vários vegetais. São alguns deles: crescimento reduzido das plantas, raízes curtas e atrofiadas, (JAMPEETONG et al., 2012), clorose, necrose, atrofiamento e murcha das folhas e coloração marrom do sistema radicular e do caule, apresentando sinais de senescência (NEUBERG et al., 2010). Outro aspecto importante seria que, com a maior aplicação de amônio, os tecidos das plantas ficam com maior suculência e há menor síntese de fitoalexinas, além de diluir o teor de silício na planta, favorecendo a penetração de agentes externos como patógenos (MALAVOLTA, 2006). As respostas que as plantas apresentam quando absorvem amônio são muito amplas, mesmo sendo da mesma espécie, de maneira que há diferenças entre as variedades quanto ao comportamento de plantas sob estresse por amônio (CRUZ et al., 2011).

Ao término do experimento, pode-se observar pelo resumo da análise de variância (Tabela 6), que houve efeito significativo dos fatores fonte e dose de N ($p \leq 0,05$), além da interação dos fatores (F x D), para o acúmulo dos solutos orgânicos: aminoácidos (folha e raiz), proteínas (folha) e carboidratos (folha e raiz). Não houve significância para o efeito da interação fontes x doses de N nos teores de sacarose e amido, bem como os efeitos principais das fontes de N, para a sacarose e amido, e das doses de N, apenas para o amido ($p > 0,05$) (Tabela 6).

Tabela 6. Resumo da análise de variância das concentrações de solutos orgânicos na produção mudas de *T. vulgaris* submetidas aos tratamentos.

FV	GL	Quadrado Médio									
		Aminoácidos FOLHA	Aminoácidos RAIZ	Proteínas FOLHA	Proteínas RAIZ	Amido FOLHA	Amido RAIZ	Carboidratos FOLHA	Carboidratos RAIZ	Sacarose FOLHA	Sacarose RAIZ
Bloco	3	496 ^{NS}	5041 ^{NS}	2,867 ^{NS}	1,5368 ^{NS}	0,007570 ^{NS}	0,0002095 ^{NS}	0,06182 ^{NS}	0,08525 ^{NS}	126,96 ^{NS}	19,612 ^{NS}
Fonte (F)	3	89586 *	97379 *	24,248 *	0,4018 ^{NS}	0,060492 ^{NS}	0,0110079 ^{NS}	0,24503 *	0,11397 *	210,23 ^{NS}	18,040 ^{NS}
Dose (D)	4	366768 *	246192 *	38,414 *	1,6142 *	0,18471 ^{NS}	0,000865 ^{NS}	0,39496 *	0,20327 *	140,87 *	47,552 ^{NS}
F x D	12	45213 *	32416 *	6,160 *	0,3643 ^{NS}	0,060557 ^{NS}	0,0135639 ^{NS}	0,11597 *	0,0626 *	120,86 ^{NS}	12,616 ^{NS}
Resíduo	57	9670	4461	1,626	0,2436	0,001594	0,0000665	0,0167	0,02631	80,76	5,954
CV (%)		70,01	63,02	42,04	50,78	27,37	21,04	44,05	64,07	34,88	48,79

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

^{NS} Não-significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste F.

Através dos dados apresentados na Tabela 6, observa-se que houve efeito significativo ($p \leq 0,05$) da interação entre fontes e doses de N sobre os teores de aminoácidos na folha e raiz. Na folha, as fontes sulfato de amônio e nitrato de amônio proporcionaram ajuste do modelo quadrático em função das doses de N e a fonte nitrato de cálcio ajustou-se ao modelo linear positivo. Já para a ureia, não houve significância ($p > 0,05$) para o ajuste do modelo de regressão (Figura 24). Para o acúmulo de aminoácidos na raiz, ureia, sulfato de amônio e nitrato de amônio apresentaram significância para o ajuste do modelo de regressão, sendo este quadrático nas três fontes (Figura 25).

Lea et al. (2006) e Akcay et al. (2012) relataram várias funções dos aminoácidos na manutenção metabólica em condições de estresse, como o acúmulo de asparagina nos órgãos vegetais em resposta ao estresse hídrico e salino, podendo estar relacionado a uma restrição das taxas de síntese de proteínas, ou ainda pode estar associado a regulação osmótica para manutenção da turgidez foliar.

O aumento da concentração de aminoácidos livres totais ocorre, principalmente, como resultado do aumento na biossíntese desses compostos (OLIVEIRA et al., 2006). Além disso, a degradação de proteínas permite a reciclagem de aminoácidos livres totais, levando a acréscimo na concentração desses compostos (BELTRAO; OLIVEIRA, 2007), o que foi observado no presente trabalho, com o aumento no teor de aminoácidos livres totais e a diminuição no teor de proteínas solúveis totais.

Grande parte dos aminoácidos podem servir como alvos para ataque oxidativo, entretanto, alguns aminoácidos como o triptofano, a tirosina, a histidina e a cisteína são particularmente sensíveis às EROs. Vários trabalhos têm mostrado que existe um aumento nos teores de aminoácidos em situações de estresse, como observado em *Eucalyptus camaldulensis* (WOODWARD; BENNETT, 2005), *Swietenia macrophylla* King (CORDEIRO et al., 2009), *Schizolobium amazonicum* e *Schizolobium parahyba* (CARVALHO, 2005).

Possíveis explicações sobre os aumentos observados incluem a inibição da síntese de proteínas, o que pode ser observado mais adiante nas figuras 26 e 27, aumento da hidrólise de proteínas, decréscimo do uso de aminoácidos como fonte de carbono respiratório e/ou aumento da biossíntese de aminoácidos (COOLEY; FOY, 1992). A biossíntese de aminoácidos tem uma relação direta com o metabolismo secundário e,

portanto, mudanças que afetem o teor de aminoácidos podem orientar o metabolismo para uma resposta de defesa (BUCHANAN et al., 2000).

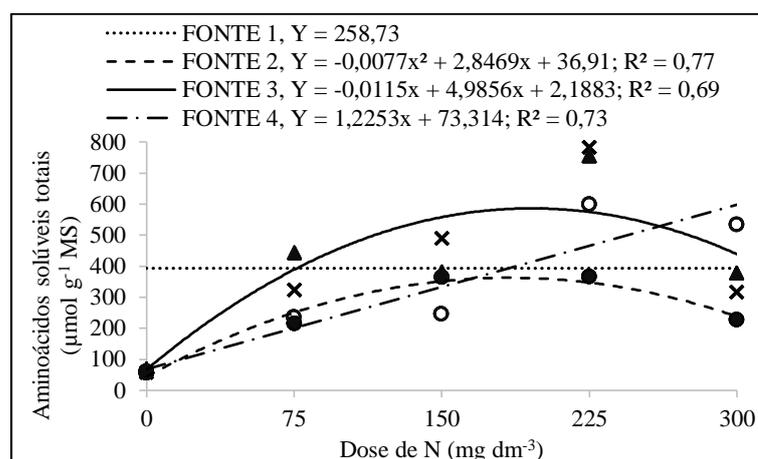


Figura 25. Concentração de aminoácidos solúveis totais nas folhas de mudas de *T. vulgaris* em função das fontes e doses de nitrogênio (FONTE 1 = ureia; FONTE 2 = sulfato de amônio; FONTE 3 = nitrato de amônio e FONTE 4 = nitrato de cálcio), ao final do experimento ($\alpha = 0,05$).

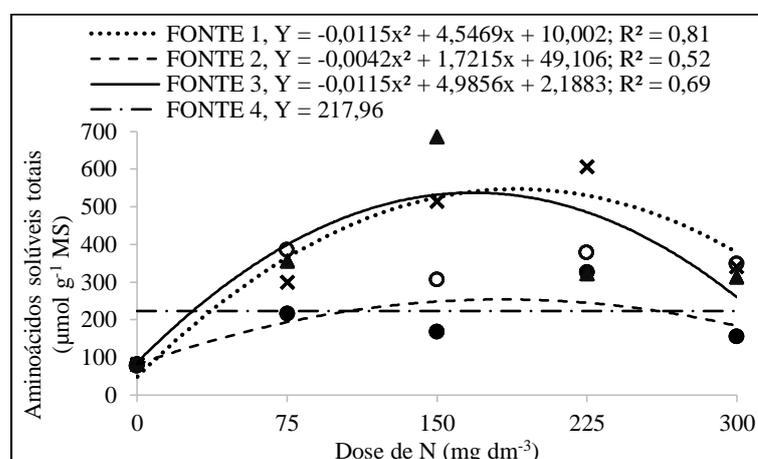


Figura 26. Concentração de aminoácidos solúveis totais nas raízes de mudas de *T. vulgaris* em função das fontes e doses de nitrogênio (FONTE 1 = ureia; FONTE 2 = sulfato de amônio; FONTE 3 = nitrato de amônio e FONTE 4 = nitrato de cálcio), ao final do experimento ($\alpha = 0,05$).

Os dados do acúmulo de proteínas na folha, para a interação significativa dos fatores (F x D) ($p \leq 0,05$), ajustaram-se ao modelo de regressão quadrático em função das doses de N, com tendência de decréscimo em função do incremento das doses, apenas para nitrato de amônio e nitrato de cálcio, como pode ser visualizado na figura 26. No caso do teor de proteínas na raiz, apenas o efeito principal das doses apresentou significância para o ajuste da equação de regressão, com curva seguindo a mesma tendência do que foi observado para a folha (Figura 27).

Os modelos quadráticos apresentaram comportamento semelhante para as duas fontes, apesar de que o nitrato de amônio fornece N na forma nítrica (NO_3^-) e amoniacal (NH_4^+) e o nitrato de cálcio apenas na forma nítrica, indicando que, para as proteínas, a espécie *T. vulgaris* apresentou pouca diferenciação na acumulação desse soluto orgânico, em relação à presença de ambas as formas de N-mineral e suas respectivas doses na adubação, o que foi explicitado no comportamento da curva no gráfico, mesmo a forma N-NO_3^- , segundo Lea e Azevedo (2006), sendo melhor assimilada pelas plantas em virtude do processo de nitrificação por bactérias. As doses de N de sulfato de amônio e nitrato de amônio não resultaram em efeito significativo sobre o acúmulo de proteínas ($p > 0,05$) para o ajuste do modelo de regressão.

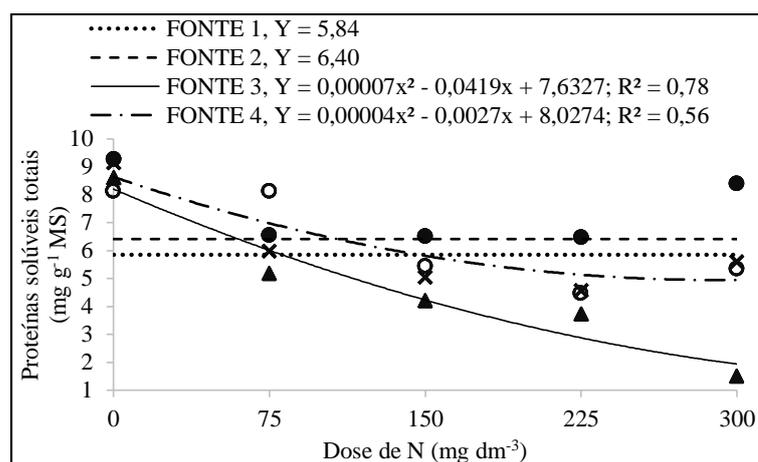


Figura 27. Concentração de proteínas solúveis nas folhas de mudas de *T. vulgaris* em função das fontes e doses de nitrogênio (FONTE 1 = ureia; FONTE 2 = sulfato de amônio; FONTE 3 = nitrato de amônio e FONTE 4 = nitrato de cálcio), ao final do experimento ($\alpha = 0,05$).

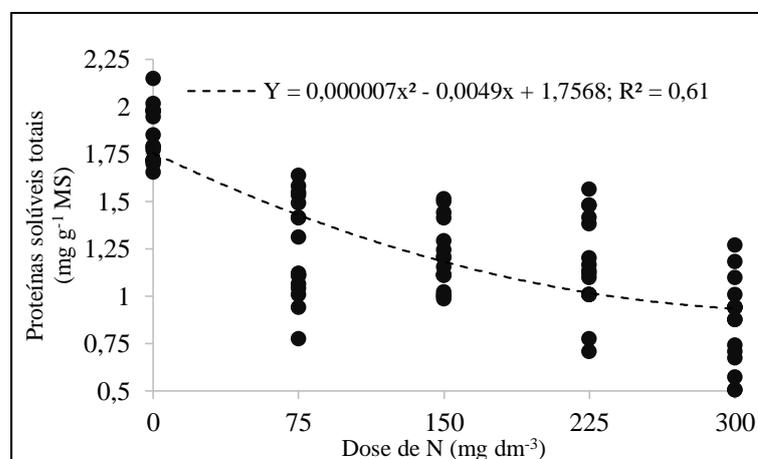


Figura 28. Concentração de proteínas solúveis nas raízes de mudas de *T. vulgaris* em função das doses de nitrogênio (FONTE 1 = ureia; FONTE 2 = sulfato de amônio; FONTE 3 = nitrato de amônio e FONTE 4 = nitrato de cálcio), ao final do experimento ($\alpha = 0,05$).

Uma vez nas folhas, sabe-se que diferentes fontes de N podem afetar diferentemente o metabolismo vegetal. O acúmulo de NH_4^+ pode acarretar em decréscimo da fotossíntese (BLACKWELL et al., 1987), enquanto o excesso de NO_3^- pode acarretar na formação de espécies reativas de oxigênio induzindo estresse oxidativo (LI et al., 2013). O metabolismo do nitrogênio também está intimamente interligado ao do carbono, e o processo fotorrespiratório é um dos pontos de ligação entre esses, além de ser uma rota metabólica que produz naturalmente espécie reativa de oxigênio. A fotorrespiração é um dos maiores processos metabólicos associados à fotossíntese (BYKOVA et al., 2014).

Da produção de EROs nos cloroplastos destacam-se, o radical superóxido ($\text{O}_2^{\cdot-}$), o peróxido de hidrogênio (H_2O_2), o radical hidroxilo (OH^{\cdot}) e o oxigênio singlete (O_2). Esses compostos são potencialmente capazes de provocar danos foto-inibitórios e foto-oxidativos (ASADA, 1999; SMIRNOFF, 1995), incluindo a peroxidação de lipídios (LIMA et al., 2002) e a desnaturação de proteínas (ASADA, 1999). Acredita-se que as EROs causem danos aos fotossistemas pelo fato de inibirem a síntese de proteínas e, conseqüentemente, a síntese de D1, principal proteína do PSII (NISHIYAMA et al., 2006).

Diferentemente dos resultados encontrados no presente trabalho, Santos (2011) observou o efeito linear crescente do teor de proteínas em função do incremento das doses de N, com a aplicação de ureia em *Coffea arabica* L.. Ainda no mesmo trabalho, o autor explica que esse aumento no teor de proteínas em função do N, pode estar relacionado diretamente com a síntese de proteínas estruturais e enzimáticas, as quais são responsáveis pela síntese de outras proteínas e dos intermediários metabólicos, sendo que a planta pode armazená-las para utilizar de acordo com as suas necessidades metabólicas. Entretanto, para a espécie *T. vulgaris*, a diminuição do teor de proteínas indica um comportamento semelhante de plantas sob estresse oxidativo, podendo estar relacionado a produção de EROs e conseqüentemente danos aos fotossistemas pela desnaturação e inibição da síntese de proteínas.

Para o acúmulo de carboidratos na folha, verificou-se efeito significativo para a interação dos fatores (F x D) (Tabela 6), obtendo-se para as fontes ureia e nitrato de amônio, um efeito quadrático com tendência a diminuição do acúmulo de carboidratos com o aumento das doses e efeito linear negativo para nitrato de cálcio, em função das doses de N aplicadas (Figura 28). As doses de N do sulfato de amônio não apresentaram

resposta significativa sobre o acúmulo de carboidratos na folha para o ajuste do modelo de regressão ($p>0,05$). A análise do conteúdo total de carboidratos solúveis nas raízes (Figura 29) revelou diminuição do teor em função do aumento das doses de N para a aplicação de ureia, comportamento semelhante ao observado nas folhas. Houve efeito linear negativo para essa fonte no ajuste do modelo de regressão. As demais fontes não apresentaram significância para o ajuste da equação ($p>0,05$). Comparando o tratamento sem fertilização e aquele com a maior dose (300 mg dm⁻³), o conteúdo de carboidratos totais diminuiu aproximadamente 1,6 vezes, chegando a 0,37 mmol de GLU g⁻¹ MS, enquanto que as mudas sem aplicação de N apresentaram 0,60 mmol de GLU g⁻¹ MS.

Os carboidratos regulam a taxa de fixação de CO₂ e/ou a síntese ou hidrólise do amido, ambos no cloroplasto (GORAI, 2010). Em geral, o teor de carboidratos é utilizado como parâmetro para identificar estresses de natureza abiótica, como o estresse hídrico. De acordo com Lisar et al. (2012), sob deficiência hídrica, parte dos carboidratos dispostos no citoplasma, são utilizados na ativação dos mecanismos de tolerância a seca, independente do mecanismo em questão. Sendo assim, normalmente, em plantas sob estresse, é comum o aumento do acúmulo de carboidratos na folha e raiz, como observado por Velásquez-Márquez et al. (2015) em *Zea mays* L.. Entretanto, de acordo com os resultados encontrados no presente trabalho, com a diminuição do teor de carboidratos em função das doses de N, segundo Marschner (2012), o nitrogênio altera a composição das plantas muito mais do que qualquer outro nutriente e, simultaneamente ao aumento na concentração de nitrogênio, ocorre redução drástica da quantidade de carboidratos de reserva.

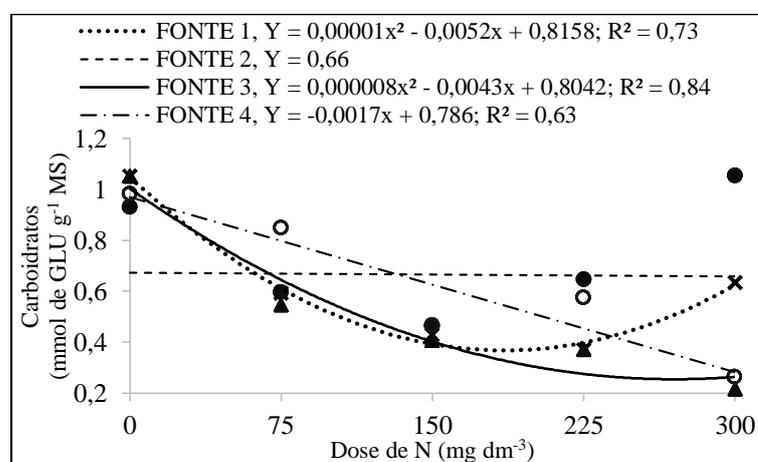


Figura 29. Concentração de carboidratos solúveis totais nas folhas de mudas de *T. vulgaris* em função das fontes e doses de nitrogênio (FONTE 1 = ureia; FONTE 2 = sulfato de amônio; FONTE 3 = nitrato de amônio e FONTE 4 = nitrato de cálcio), ao final do experimento ($\alpha = 0,05$).

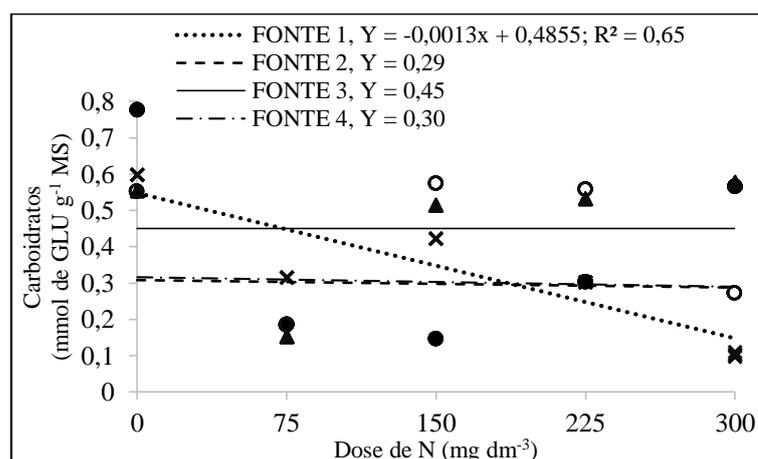


Figura 30. Concentração de carboidratos solúveis totais nas raízes de mudas de *T. vulgaris* em função das fontes e doses de nitrogênio (FONTE 1 = ureia; FONTE 2 = sulfato de amônio; FONTE 3 = nitrato de amônio e FONTE 4 = nitrato de cálcio), ao final do experimento ($\alpha = 0,05$).

A assimilação de nitrato requer energia e esqueletos de carbono que, em órgãos heterotróficos como as raízes, são fornecidos pela oxidação dos carboidratos translocados da parte aérea, ou seja, toda a energia necessária para converter nitrato em aminoácidos no sistema radicular deriva da oxidação dos carboidratos ou ácidos orgânicos. O nitrato é um poderoso competidor pela energia disponível nas raízes, de tal forma que, em plantas cultivadas em alto nível de nitrato, o teor de açúcares e o crescimento do sistema radicular são bem inferiores aos daqueles crescidos em baixo teor de nitrato, ou outras formas de nitrogênio (SUTHERLAND et al., 1985).

Para o teor de sacarose nas folhas, a interação entre fontes e doses de nitrogênio não foi significativa ($p > 0,05$). Entretanto, verificou-se o efeito principal das doses de N sobre o acúmulo de sacarose nas folhas (Figura 30). As doses de N proporcionaram o acúmulo máximo de sacarose além da dose de 300 mg dm⁻³. O aumento no teor desse soluto, considerando as mudas sem fertilização e a fertilização com a maior dose, foi de 30%.

Dalio et al. (2011) também observaram aumento no conteúdo de sacarose em plantas de *Cajanus cajan* (L.) submetidas a estresse salino. Já para plantas de *Sorghum bicolor* (L.) Moench, a concentração de sacarose nas folhas reduziu de acordo com o aumento na quantidade de amônio aplicado, com uma redução de 52% do tratamento apenas com nitrato para o tratamento apenas com amônio (LOBO et al., 2011). Resultados similares foram observados por Veith & Komor (1993) e Donato et al. (2003), quando cultivaram *Saccharum spp.* com baixa concentração de N e obtiveram altos teores de sacarose e baixo teor de aminoácidos, o que foi observado nas plantas de *Tachigali*

vulgaris do tratamento sem fertilização. A sacarose tem sido indicada como o principal tipo de açúcar a atuar na manutenção da turgescência celular, regulando o ajuste osmótico (FARRANT et al., 2009). No presente trabalho, algumas plantas sob altas doses de N apresentaram menor crescimento aéreo quando comparadas às sem fertilização. Esse resultado sugere que a sacarose derivada da mobilização das reservas, em plantas de *Tachigali vulgaris*, não foi utilizada especialmente no processo de crescimento, mas possivelmente para atender às necessidades advindas da absorção de quantidades mais elevadas de NO_3^- , da redução à NO_2^- e da síntese de aminoácidos, principalmente na parte aérea, uma vez que esses órgãos são os principais drenos de nitrato (AMÉZIANE et al., 1997).

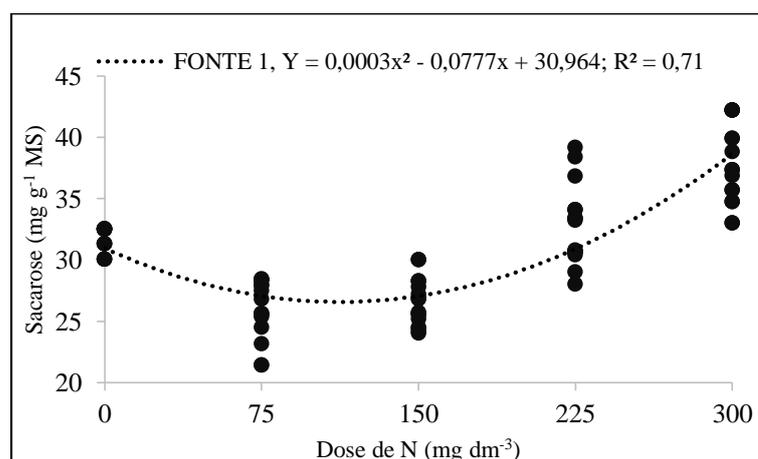


Figura 31. Concentração de sacarose nas folhas de mudas de *T. vulgaris* em função das doses de nitrogênio (FONTE 1 = ureia; FONTE 2 = sulfato de amônio; FONTE 3 = nitrato de amônio e FONTE 4 = nitrato de cálcio), ao final do experimento ($\alpha = 0,05$).

Na tabela 7 são apresentados os resumos da análise de variância dos teores de clorofila a (*Cl_a*), clorofila b (*Cl_b*) e clorofila total (*Cl_t*). Houve efeito significativo ($p \leq 0,05$) do efeito principal das fontes e doses de N, bem como a interação entre os dois fatores estudados (F x D), para todos os pigmentos fotossintéticos. Os teores desses pigmentos apresentaram comportamento similar em função da adubação nitrogenada, que promoveu incrementos significativos para essas variáveis.

Em relação ao teor de clorofila A (*Cl_a*), através da análise de regressão, para associar o efeito das doses de N, apenas a aplicação de nitrato de amônio proporcionou efeito significativo para o ajuste do modelo de regressão. Verifica-se o efeito quadrático nos teores de *Cl_a* em função das doses de N, resultando no decréscimo da curva próximo das maiores doses do fertilizante (Figura 31), o que pôde ser visualizado a partir do desdobramento da interação.

Tabela 7. Resumo da análise de variância dos teores de pigmentos fotossintéticos, na produção mudas de *T. vulgaris* submetidas aos tratamentos.

FV	GL	Quadrado médio		
		Clorofila A	Clorofila B	Clorofila Total
Bloco	3	0,015 ^{NS}	0,0026 ^{NS}	0,005 ^{NS}
Fonte (F)	3	22,874 *	3,2753 *	26,483 *
Dose (D)	4	38,241 *	9,3263 *	70,641 *
F x D	12	15,168*	7,9693 *	28,582 *
Resíduo	57	0,017	0,0029	0,006
CV (%)		24,53	19,77	48,95

* Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

^{NS} Não-significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste F.

A dose de N que obteve os maiores valores de *Cl*a para nitrato de amônio foi de 157,25 mg dm⁻³ para um teor de *Cl*a de 7,78 mg g⁻¹ MF, ou seja, um aumento de cerca de 170% em relação ao tratamento sem fertilização, que apresentou aproximadamente 2,88 mg g⁻¹ MF de *Cl*a, em média. O teor de clorofila A é essencial para fotossíntese nas plantas, devido ao seu papel como um doador primário de elétrons na cadeia de transporte de elétrons (RAVEN et al., 2005).

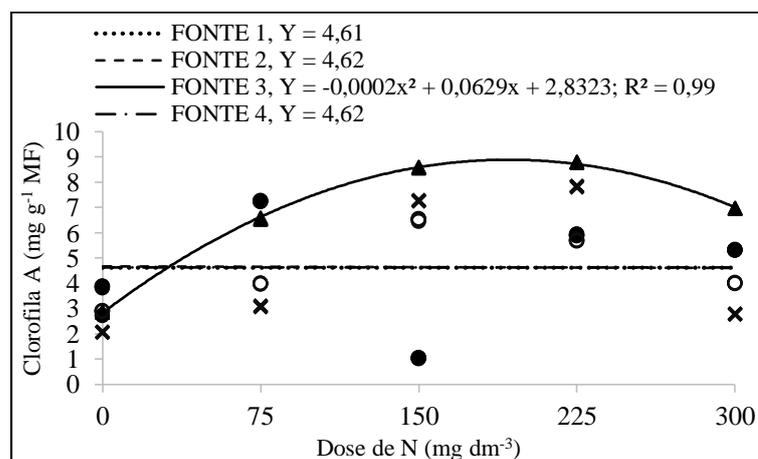


Figura 32. Teor de clorofila A nas folhas de mudas de *T. vulgaris* em função das fontes e doses de nitrogênio (FONTE 1 = ureia; FONTE 2 = sulfato de amônio; FONTE 3 = nitrato de amônio e FONTE 4 = nitrato de cálcio), ao final do experimento ($\alpha = 0,05$).

Para o teor de clorofila B (*Cl*b), verificou-se efeito quadrático em função das doses de ureia e nitrato de amônio e, efeito linear negativo para as doses do sulfato de amônio (Figura 32). O ajuste do modelo de regressão para nitrato de cálcio não apresentou significância ($p > 0,05$). A aplicação de sulfato de amônio indica que o fertilizante em questão afetou negativamente os teores de *Cl*b. As doses de máxima eficiência, com as fontes ureia e nitrato de amônio, foram de 227 (2,83 mg g⁻¹ MF) e 196 mg dm⁻³ (3,13 mg g⁻¹ MF), respectivamente. Lichtenthaler e Wellburn (1983) afirmam que as clorofilas A e

B são componentes das membranas dos cloroplastos e normalmente ocorrem na razão de aproximadamente 3 para 1, relação que também aconteceu na presente pesquisa.

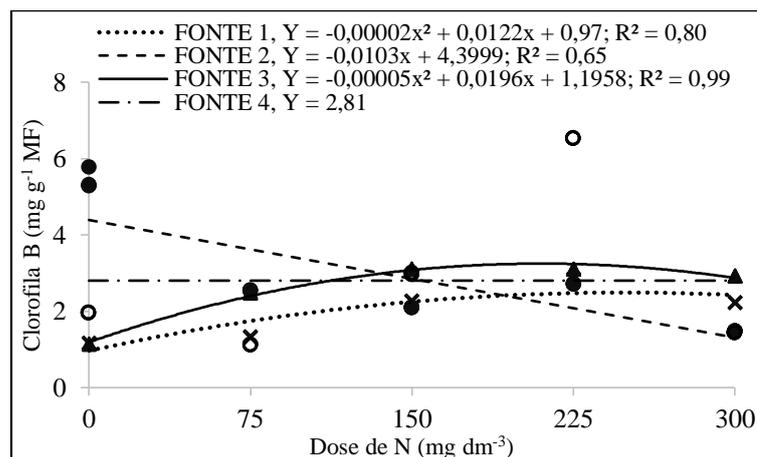


Figura 33. Teor de clorofila B nas folhas de mudas de *T. vulgaris* em função das fontes e doses de nitrogênio (FONTE 1 = ureia; FONTE 2 = sulfato de amônio; FONTE 3 = nitrato de amônio e FONTE 4 = nitrato de cálcio), ao final do experimento ($\alpha = 0,05$).

O efeito das doses de N testadas sobre o teor de clorofilas total (*Cl_t*) foi ajustado no modelo quadrático para ureia e nitrato de amônio, indicando que a espécie respondeu positivamente à aplicação de N para essa variável, comportamento similar do encontrado para os teores de *Cl_a* e *Cl_b* para a maioria das fontes de N. As doses de máxima eficiência encontradas para *Cl_t* foram de 201,5 (10,71 mg g⁻¹ MF) e 206,25 mg dm⁻³ (11,91 mg g⁻¹ MF), para ureia e nitrato de amônio, respectivamente (Figura 33). Não houve efeito significativo para as doses de N de sulfato de amônio e nitrato de cálcio sobre essa variável.

Soratto et al. (2004), avaliando a aplicação de ureia em plantas de feijão, também observaram resposta quadrática dos teores de clorofila total em função das doses de N, de modo que, as maiores doses de N disponíveis no solo aumentaram o teor do pigmento, até certo ponto, indicando a não produção de clorofila pelas plantas além da quantidade de que necessitam, ou que outros fatores podem ter limitado o aumento do teor de clorofila. Testando a aplicação de ureia em genótipos de mudas de *Zea mays*, Velásquez-Márquez et al. (2015), encontraram os maiores valores de clorofila nas plantas cultivadas com a presença do fertilizante nitrogenado em relação ao tratamento sem fertilização. Em plantas de *Solanum quitoense* cv. *Septentrionale* sob alagamento, a concentração de clorofila nas plantas cultivadas com 110 mg N L⁻¹, aumentou em relação as plantas cultivadas com 10 mg N L⁻¹, sendo que a aplicação de N aumentou os teores de clorofila principalmente em plantas sob condições de encharcamento em ambas as doses,

entretanto, o conteúdo de clorofila diminuiu quando o fertilizante foi aplicado nas plantas não-inundados, na dose mais alta (FLÓREZ-VELASCO et al., 2015).

Em estudo de Cruz et al. (2008), a forma de nitrogênio não influenciou a concentração de clorofilas totais em plantas de *Manihot esculenta* Crantz, cujos valores foram de 0,82 e 0,88 g m⁻², respectivamente, para os tratamentos, tendo apenas NO₃⁻ ou NH₄⁺ como única fonte. Entretanto, segundo esse mesmo autor, é possível inferir a partir da semelhança entre os valores de clorofila, que a atividade fotossintética quando expressa por unidade desse pigmento, tenha sido menor para as plantas cultivadas exclusivamente com NH₄⁺, corroborando com os resultados do presente trabalho, o que pode ser visualizado na Figura 33, onde o teor de *Clf*, foi menor com a aplicação de ureia em comparativo com a aplicação de nitrato de amônio. De acordo com Raab e Terry (1994), isso é explicado pelo aumento da resistência interna à difusão do CO₂ até os sítios de carboxilação, como consequência da presença de cloroplastos maiores. A utilização do N na produção de clorofila pode ser uma estratégia da planta visando garantir uma captação adequada de energia luminosa pelos fotossistemas (CARNEIRO et al., 2015). Folhas com elevado teor de nitrogênio apresentam maiores teores de clorofila, o que resulta numa melhor capacidade fotossintética (SANTOS, 2011).

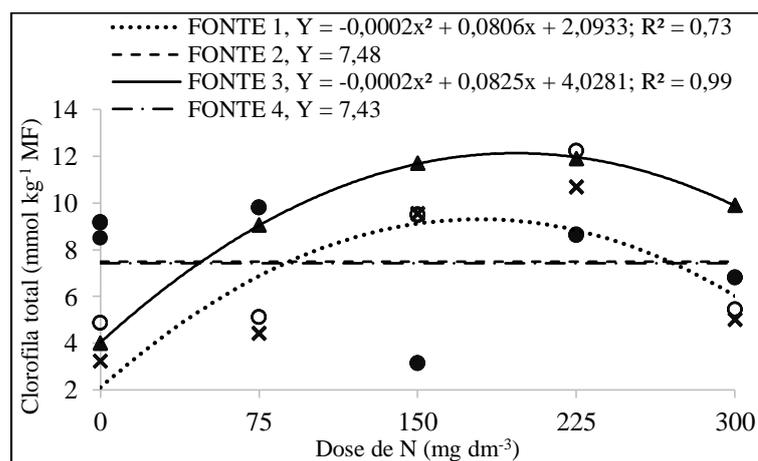


Figura 34. Teor de clorofilas totais nas folhas de mudas de *T. vulgaris* em função das fontes e doses de nitrogênio ($\alpha = 0,05$). (FONTE 1 = ureia; FONTE 2 = sulfato de amônio; FONTE 3 = nitrito de amônio e FONTE 4 = nitrito de cálcio), ao final do experimento ($\alpha = 0,05$).

Analisando os resultados presentes nas figuras 31, 32 e 33 correspondentes aos teores de pigmentos fotossintéticos (*Cl_a*, *Cl_b* e *Cl_t*, respectivamente), nas maiores doses de N (225 e 300 mg dm⁻³ de N), independentemente da fonte utilizada, observa-se que a absorção do N pela planta não foi tão eficaz, assim, não ocorrendo o aumento contínuo

dos teores de clorofila em função das doses de N. Os teores de clorofila da folha se correlacionam com o teor de N na planta (SCHADCHINA; DMITRIEVA, 1995) e com o rendimento das culturas (SMEAL; ZHANG, 1994). Esta relação entre leituras de clorofila e N foliar é atribuída, principalmente, ao fato de que 50 a 70% do N total das folhas serem integrante de enzimas que estão associadas aos cloroplastos (CHAPMAN; BARRETO, 1997).

Em resposta a omissão de nitrogênio, foram visualizadas reduções nos teores de pigmentos fotossintéticos em diversas espécies florestais, como *Hymenaea courbaril* L. (MATHEUS et al., 2011), *Schizolobium amazonicum* (Huber ex Ducke) (MARQUES et al., 2004), *Tectona grandis* (L.f.) (BARROSO et al., 2005) e *Moringa oleífera* (VIEIRA et al., 2008) que resultou na clorose das folhas mais jovens, evoluindo para uma clorose generalizada e início de necrose nas folhas mais velhas, corroborando com os resultados obtidos no presente estudo (Figura 33), em que a ausência de N se mostrou limitante para a produção de pigmentos fotossintéticos.

Lehninger et al. (1993) afirmam que além de ser constituinte das clorofilas, o N está envolvido nos processos de síntese proteica, especialmente a Rubisco (Ribulose, 1,5 bisfosfato carboxilase/oxigenase) responsável pela fixação de CO₂, representando aproximadamente 50% das proteínas solúveis contidas nas folhas de plantas C3. De acordo com Vieira et al. (2008), ocorre uma rápida modificação no perfil hormonal da planta após a instauração da deficiência de N, ocasionando a indução precoce da senescência foliar, uma vez que o nitrogênio é um elemento chave no processo de síntese proteica, o que torna a sua deficiência muito mais intensa quando comparada aos demais elementos.

5.4 Conclusão

Houve redução na concentração de proteínas na folha e raiz, com a aplicação de nitrato de amônio e nitrato de cálcio, podendo estar relacionado a formação de espécies reativas de oxigênio (EROs), ocasionado pelo excesso de NO_3^- , provocando danos aos fotossistemas pela inibição da síntese de proteínas.

O acúmulo de aminoácidos na folha e raiz foi influenciado positivamente pela aplicação de N, ocorrendo a máxima acumulação com a fonte nitrato de amônio, em doses próximas de 225 mg dm^{-3} . O aumento do teor de aminoácidos na folha e raiz pode ser uma estratégia da planta como meio de contribuir para desintoxicação das EROs. A conversão do nitrato em aminoácidos pela raiz demonstrou ser dependente da oxidação dos carboidratos, causando a redução da concentração desse soluto com o aumento do fornecimento de NO_3^- .

O crescimento de mudas de *T. vulgaris* é afetado pela presença de ambas as formas de nitrogênio mineral (N-NO_3^- e N-NH_4^+) na adubação, sendo que a combinação das duas formas de N apresentou a maior média da atividade da enzima nitrato redutase e maior incremento do teor de clorofila total, em doses próximas de 225 mg dm^{-3} .

REFERÊNCIAS

- AKÇAY, N.; BOR, M.; KARABUDAK, T.; OZDMIR, F.; TURKAN, I. Contribution of gamma amino butyric acid (GABA) to salt stress responses of *Nicotiana sylvestris* CMSII mutant and wild type plants. **Journal of Plant Physiology**, v.169, n. 5, p.452-458, 2012.
- ALVAREZ V., V. H.; DIAS, L. E.; LEITE, P. B.; SOUZA, R. B. de; RIBEIRO JUNIOR, E. S. R. Poda de raízes e adubação para crescimento do cafeeiro cultivado em colunas de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, n.1, p.111-119, 2006.
- AMÉZIANE, R.; DELÉENS, E.; NOCTOR, G.; MOROT-GAUDRY, J-F.; LIMAMI, M. A. Stage of development is an important determinant in the effect of nitrate on photoassimilate (13C) partitioning in chicory (*Cichorium intybus*). **Journal of Experimental Botany**, v. 48, p. 25-33, 1997.
- ASADA, K. The water-water cycle in chloroplasts: scavenging of active oxygens and dissipation of excess photons. **Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.**, v.50, p.601-639, 1999.
- ASHER. C.J.; EDWARDS, D.G. **Moder solution culture techniques**. In *Inorganic Plant Nutrition* (Encyclopedia of Plant Physiology, New Series, Vol. 15B), A. Lauchli and Bielecki, eds., Springer, Berlin, p. 94 – 119, 1983.
- ASHRAF, M.; HARRIS, P. J. C. Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. **Plant Science**, v.166, n.1, p.3-16, 2004.
- BARROSO, D. G.; FIGUEIREDO, F. A. M. M. A.; PEREIRA, R. C.; MENDONÇA, A. V. R.; SILVA, L. C. Diagnostico de deficiências de macronutrientes em mudas de teca. **Revista Árvore**, Vicososa, v.29, n.5, p.671-679, 2005.
- BELTRAO, N. E. M.; OLIVEIRA, M. I. P. Biossíntese e degradação de lipídios, carboidratos e proteínas em oleaginosas. Documentos, 178, 61p. Embrapa Algodão - Campina Grande, PB, 2007.
- BLACKWELL, R. D.; MURRAY, A. J. S.; LEA, P. J. Inhibition of Photosynthesis in Barley with Decreased Levels of Chloroplastic Glutamine Synthetase Activity. **Journal of Experimental Botany**, v. 38, n. 11, p. 1799-1809, 1987.
- BORGOGNONE, D.; COLLA, G.; ROUPHAEL, Y.; CARDARELLI, M.; REA, E.; SCHWARZ, D. Effect of nitrogen form and nutrient solution pH on growth and mineral composition of self-grafted and grafted tomatoes. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 149, n. 1, p. 61–69, 2013.
- BORGOGNONE, D.; COLLA, G.; ROUPHAEL, Y.; CARDARELLI, M.; REA, E.; SCHWARZ, D. Effect of nitrogen form and nutrient solution pH on growth and mineral composition of self-grafted and grafted tomatoes. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 149, n. 1, p. 61–69, 2013.

BOX, G. E. P. Non-normality and tests on variances. **Biometrika**, London, v. 40, n. 3-4, p. 318-335, 1953.

BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Anal. Biochem.**, v. 72, p. 248-254, 1976.

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

BUCHANAN, B.; GRUISSEM, W.; JONES, R. Biochemistry & molecular biology of plants. In: CRAWFORD, N. M.; KAHN, M. L.; LEUSTEK, T.; LONG, S. R. **Nitrogen and sulfur**. Maryland: American Society of Plant Biologists, 2000. cap. 16, p. 786- 849.

BYKOVA, N. V.; MØLLER, I. M.; GARDESTRÖM, P.; IGAMBERDIEV, A. U. The function of glycine decarboxylase complex is optimized to maintain high photorespiratory flux via buffering of its reaction products. **Mitochondrion**, v.19, part. B, p.357-364, 2014.

CAMPOS, C. N. S. **Silício e excesso de amônio e de nitrato em plantas de cana-de-açúcar e de pepino**. 2013. 60 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2013.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed). **Fertilidade do solo**. Viçosa. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, cap.7 p.375-470.

CAO, Y.; FAN, X.R.; SUN, S.B.; XU, G.H.; HU, J.; SHEN, Q.R. Effect of nitrate on activities and transcript levels of nitrate reductase and glutamine synthetase in rice. **Pedosphere**, Beijing, v. 18, n. 5, p. 664-673, 2008.

CARNEIRO, M. M. L. C.; GOMES, M. P.; SANTOS, H. R. B.; REIS, M. V. dos; MENDONÇA, A. M. das C.; OLIVEIRA, L. E. M. de. Fotorrespiração e metabolismo antioxidante em plantas jovens de seringueira cultivadas sob diferentes fontes de nitrogênio (NO_3^- e NH_4^+). **Rev. Bras. Ciênc. Agrár.**, Recife, v.10, n.1, p.66-73, 2015.

CARPANEZZI, A.A.; MARQUES, L.C.T.; KANASHIRO, M. **Aspectos ecológicos e silviculturais de taxi-branco-da-terra-firme (*Sclerolobium paniculatum* Vogel)**. Curitiba, EMBRAPA-URPFCS, 1983. (EMBRAPA-URPFCS. Circular Técnica, 8).

CARVALHO, C. J. R. Respostas de plantas de *Schizolobium amazonicum* [*S. parahyba* var. *amazonicum*] e *Schizolobium parahyba* [*Schizolobium parahybum*] à deficiência hídrica. **Revista Árvore**, v. 29, p.907-914, 2005.

CATALDO, D. A.; HAROON, S. L. E.; YUGS, V. L. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. **Commum Soil Science and Plant Analyse**, v.6, n.1, p.71-80, 1975.

CHAPMAN, S. C.; BARRETO, H. J. Using a chlorophyll meter to estimate specific leaf nitrogen of tropical maize during vegetative growth. **Agronomy Journal**, Madison, v. 89, n. 4, p. 557-562, 1997.

COOLEY, W. E.; FOY, C. L. Effects of SC-0224 and glyphosate on free amino acids, soluble protein, and protein synthesis in inflated duckweed (*Lemna gibba*). **Weed Science**, v.40, n.3, p.345-350, 1992.

CORDEIRO, Y. E. M.; PINHEIRO, H.A.; SANTOS FILHO, B.G.; CORRÊA, S.S.; DIAS-FILHO, M. B. Physiological and morphological responses of young mahogany (*Swietenia macrophylla* King) plants to drought. **Forest Ecology and Management**, v. 258, p.1449–1455, 2009.

CRUZ, C.; DOMÍNGUEZ-VALDIVIA, M. D.; APARICIO-TEJO, P. M.; LAMSFUS, C.; BIO, A.; MARTINS-LOUÇÃO, M. A.; MORAN, J. F. Intra-specific variation in pea responses to ammonium nutrition leads to different degrees of tolerance. **Environmental and Experimental Botany**, Amsterdam, v. 70, n. 3, p. 233–243, 2011.

CRUZ, J. L.; PELACANI, C. R.; ARAUJO, W. L. Influência do nitrato e do amônio sobre a fotossíntese e a concentração de compostos nitrogenados em mandioca. **Ciencia Rural**, Santa Maria, v.38, n. 3, p. 643-649, 2008.

DALIO, R. J. D.; PINHEIRO, H.C.; SODEK, L.; HADDAD, C. R. B. The effect of 24-epibrassinolide and clotrimazole on the adaptation of *Cajanus cajan* (L.) Millsp. to salinity. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 33, n. 5, p. 1887-1896, 2011.

DAVIES, C. S. Strategy differences of two potato species in response to nitrogen starvation. Do plants have a genetic switch for nitrogen signalling? **Plant, Cell and Environment**, v. 23, p. 759-769, 2000.

DECHEN, A. R.; HAAG, H.P.; CARMELLO, Q.A.C. Mecanismos de absorção e de translocação de micronutrientes. In: FERREIRA, M. E. **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1991. p.79-111.

DONATO, M. T. S.; ANDRADE, A. G. de; SOUZA, E. S. de; FRANÇA, J. G. E. de. Metabolismo de plantas de cana-de-açúcar cultivadas in vitro sob diferentes concentrações de nitrogênio. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 38, n. 12, p. 1373-1379, 2003.

DROGE, W. Free radicals in the physiological control of cell function. **Physiological Reviews**, v.82, n.1, p.47-95, 2002.

DUBOIS, M. GILLES, K. A.; HAMILTON, J. K.; REBERS, P. A. SMITH, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Analytical Chemistry**, v. 28, p. 305-356. 1956.

DUCKE, A. Notas sobre a flora neotrópica — II. As leguminosas da Amazônia Brasileira. **Boletim Técnico do Instituto Agrônomo do Norte**, Belém, (18): 1-248, 1949.

MUNZAROVA, E.; LORENZEN, B.; BRIX, H.; VOJTISKOVA, L.; VOTRUBOVA, O. Effect of $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ availability on nitrate reductase activity and nitrogen accumulation in wetland helophytes *Phragmites australis* and *Glyceria maxima*. **Environmental and Experimental Botany**, Oxford, v. 55, p. 49–60, 2006.

FARRANT, J. M.; LEHNER, A.; COOPER, K.; WISWEDEL, S. Desiccation tolerance in the vegetative tissues of the fern *Mohria caffrorum* is seasonally regulated. **The Plant Journal**, v. 57, n. 1, p. 65-79, 2009.

FLÓREZ-VELASCO, N.; BALAGUERA-LÓPEZ, H. E.; RESTREPO-DÍAZ, H. Effects of foliar urea application on lulo (*Solanum quitoense* cv. *septentrionale*) plants grown under different waterlogging and nitrogen conditions. **Scientia Horticulturae**, v. 186, p. 154-162, 2015.

GERENDÁS, J.; ZHU, Z.; BENDIXEN, R.; RATCLIFFE, R. G.; SATTELMACHER, B. Physiological and biochemical processes related to ammonium toxicity in higher plants. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Weinheim, v. 160, n. 2, p. 239–251, 1997.

GORAI, M., MARAGHNI, M. AND NEFFATI, M. The relationship between phenological traits and water potential patterns of the wild jujube *Ziziphus lótus* in southern Tunisia. **Plant Ecology & Diversity**, v. 3, n. 3, p.273-280, 2010.

HAGEMAN, R. H. G.; HUCKLESBY, D. P. Nitrate reductase from higher plants. **Methods in enzymology**, v. 17, n. 2, p. 491 – 503, 1971.

HAVLIN, J.L.; BEATON, J.D.; TISDALE, S.L.; NELSON, W.L. **Soil fertility and fertilizers. An introduction to nutrient management**. 7th ed. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2005. 515 p.

JAMPEETONG, A.; BRIX, H.; KANTAWANICHKUL, S. Response of *Salvinia cucullata* to high NH_4^+ concentrations at laboratory scales. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, Maryland Heights, v. 79, n. 1, p. 69-74, 2012.

JARA, E.R.P. **O poder calorífico de algumas madeiras que ocorrem no Brasil**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 1989. (Comunicação Técnica, 1797)

KAWACHI, T.; SHOJI, Y.; SUGIMOTO, T.; KLEINHOF, A.; WARNER, R.L.; OHTAKE, N.; OHYAMA, T.; SUEIOSHI, K. Role of xylem sap nitrate in regulation of nitrate reductase gene expression in leaves of barley (*Hordeum vulgare* L.) seedlings. **Soil Science and Plant Nutrition**, Oxford, v. 48, n. 1, p. 79-85, 2002.

LASA, B.; FRECHILLA, S.; APARICIO-TEJO, P. M.; LAMSFUS, C. Role of glutamate dehydrogenase and phosphoenolpyruvate carboxylase activity in ammonium nutrition tolerance in roots. **Plant Physiology and Biochemistry**, Paris, v. 40, n. 11, p. 969-976, 2002.

LASA, B.; FRECHILLA, S.; LAMSFUS, C.; APARICIO-TEJO, P. M. The sensitivity to ammonium nutrition is related to nitrogen accumulation. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 91, n. 2, p.143-152, 2001.

LEA, P.J.; AZEVEDO, R.A. Nitrogen use efficiency. 1. Uptake of nitrogen from the soil. **Annals of Applied Biology**, v.149, n.3, p.243-247, 2006.

LEHNINGER, A.L.; NELSON, D.L.; COX, M.M. **Principles of Biochemistry**. New York: Worth Publishers, 1993, 1013p.

LI, S. X.; WANG, Z. H.; STEWAR, B. A. Responses of crop plants to ammonium and nitrate N. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 118, p. 205–397, 2013.

LICHTENTHALER, H. K.; WELLBURN, A. R. Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. **Biochemical Society Transactions**, v.11, p.591-592, 1983.

LICHTENTHALER, H.K. Chlorophylls and carotenoids: pigment photosynthetic biomembranes. **Methods Enzymol.**, San Diego, v. 148, p. 362-385, 1987.

LIMA, A.; DA MATTA, F.; PINHEIRO, H.; TOTOLA, M.; LOUREIRO, M. Photochemical responses and oxidative stress in two clones of *Coffea canephora* under water deficit conditions. **Environmental and Experimental Botany**, v. 47, n. 3, p. 239-247, 2002.

LIMA, R. M. B. de. **Crescimento do *sclerolobium paniculatum* vogel na Amazônia, em função de fatores de clima e solo**. 2004. 194 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

LISAR, S. Y. S.; MOTAFAKKERAZAD, R.; HOSSAIN, M. M., RAHMAN, I. M M. Water stress in plants: Causes, effects and responses. In: **Water Stress**, Edited by: Ismail M. M. Rahman and Hiroshi Hasegawa. 1–14 Rijeka, Croatia: In Tech, 2012.

LOBO, A. K. M.; MARTINS, M. DE O.; LIMA NETO, M. C.; BONIFÁCIO, A.; SILVEIRA, J. A. G. da. Compostos nitrogenados e carboidratos em sorgo submetido à salinidade e combinações de nitrato e amônio. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 2, p. 390-397, abr-jun, 2011.

LOPES, A.S.; BASTOS, A.R.R.; DAHER, E. Uso eficiente dos fertilizantes nitrogenadas e sulfatados na agricultura brasileira: Uma visão do futuro. In: YAMADA, T; ABDALLA, S.R.S.; VITTI, G.C. (Ed). **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: IPNI Brasil, 2007. cap.5, p. 161–187.

LOQUÉ, D.; WIRÉN, N. V. Regulatory levels for the transport of ammonium in plant roots. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 55, n. 401, p. 1293-1305, 2004.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. p. 638.

MARQUES, T.C.L.L.S.M.; CARVALHO, J.G.; LACERDA, M.P.C; MOTA, P.E.F. Crescimento inicial do paricá (*Schizolobium amazonicum*) sob omissão de nutrientes e de sódio em solução nutritiva. **Cerne**, Lavras, v. 10, n. 2, p. 184-195, 2004.

- MARSCHNER, P. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. 3rd. ed. London: Academic Press, 2012. 651p.
- MATHEUS, M. T.; AMARAL, J. A. T.; SILVA, D. G. G.; NEVES, D. M.; PIZZOL, E. C. S.; SOUSA, F. C.; SANTI, G. C.; GUARIZ, H. R.; LIMA, K. A.; HOFFMANN, R. G.; Sintomas de deficiência nutricional em plantas de Jatobá. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, Garça, v. 17, n. 1, p. 89-97, 2011.
- MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. 5th. ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001. 849p.
- MIFLIN, B. J.; HABASH, D. Z. The role of glutamine synthetase and glutamate dehydrogenase in nitrogen assimilation and possibilities for improvement in the nitrogen utilization of crops. **J. Exp. Bot.**, v.53, p.979-987, 2002.
- NEUBERG, M.; PAVLÍKOVÁ, D.; PAVLÍK, M.; BALÍK, J. The effect of diferente nitrogen nutrition on proline and asparagine content in plant. **Plant Soil Environment**, Praga, v. 56, n. 7, p. 305–311, 2010.
- NISHIYAMA Y., ALLAKHVERDIEV S., MURATA N. A new paradigm for the action of reactive oxygen species in the photoinhibition of photosystem II. **Biochimica Biophysica Acta**, v. 1757, p.742-749, 2006.
- OLIVEIRA, L.A.A., BARRETO, L.P., BEZERRA NETO E., SANTOS, M.V.F. e COSTA, J. C.A. Solutos orgânicos em genótipos de sorgo forrageiro sob estresse salino. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, Brasília, v.41, n.1, p.31-35, 2006.
- PASSOS, M. A. A. **Efeito da calagem e de fósforo no crescimento inicial da algaroba (*Prosopis juliflora* (SW) DC)**. 1994. 57f.. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1994.
- PEOPLES, M.B.; FAIZAH, A.W.; REAKASEM, B. E.; HERRIDGE, D. F. (1989) **Methods for evaluating nitrogen fixation by nodulated legumes in the field**. Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra. p. 76.
- PIMENTEL, C. A relação da planta com a água. Seropedica, Rio de Janeiro. EDUR, 192 p., 2004.
- RAAB, T. K.; TERRY, N. Nitrogen-source regulation of growth and photosynthesis in *Beta vulgaris* L. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 105, p. 1159-1166, 1994.
- RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. (2005) **Photosynthesis, Light, and Life**. Biology of Plants (7th edn). Freeman, New York.
- RIBEIRO, G.T; PAIVA, H.N.; JACOVINE, L.A.G.; TRINDADE, C. **Produção de mudas de Eucalipto**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2001. 112p.
- ROJAS, O. I. A. **Avaliação fisiológica e bioquímica de cana-de-açúcar variedades RB83-5089 e SP80-3280 em fase inicial de crescimento submetidas a doses de nitrato**.

2012. 129 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2012.

SANTAMARIA, P. Nitrate in vegetables: toxicity, content, intake and EC regulation. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, West Sussex, v. 86, n. 1, p. 10-17, 2006.

SANTOS, D. M. A. dos. **Resposta Fisiológica e bioquímica do cafeeiro (*Coffea Arabica*, L.) cv. Catuai Vermelho IAC 144, em função de modos de aplicação e doses de nitrogênio**. Tese (Doutorado em Agronomia). 2011. 102p. Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2011.

SCHADCHINA, T. M.; DMITRIEVA, V. V. Leaf chlorophyll content as a possible diagnostic mean for the evaluation of plant nitrogen uptake from the soil. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 18, p. 1427-1437, 1995.

SCHEER, M.B.; CARNEIRO, C.; SANTOS, K.G. Substratos à base de lodo de esgoto compostado na produção de mudas de *Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 88, p. 637-644, 2010.

SCHORTEMAYER, M.; FEIL, B.; STAMP, P. Root morphology and nitrogen uptake of maize simultaneously supplied with ammonium and nitrate in split-root system. **Annals of botany**, Oxford, v. 72, n. 2, p. 107-115, 1993.

SCHRÖDER, J. J.; NEETESON, J. J.; OENEMA, O.; STRUIK, P. C. Does the crop or the soil indicate how to save nitrogen in maize production? Reviewing the state of art. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 66, n. 2, p. 151-164, 2000.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika**, London, v. 52, n. 3-4, p. 591-611, 1965.

SILVA, S. M. da; OLIVEIRA, L. J.; FARIA, F. P.; REIS, E. F. dos; CARNEIRO, M. A. C.; SILVA, S. M. da. Atividade da enzima nitrato redutase em milho cultivado sob diferentes níveis de adubação nitrogenada e potássica. **Ciência Rural**, v.41, n.11, p. 1931-1937, nov, 2011.

SILVEIRA, J. A. G.; VIEGAS, R. D.; ROCHA, I. M. A.; MOREIRA, A. C. D. M.; MOREIRA, R. D.; OLIVERIA, J. T. A. Proline accumulation and glutamine synthase activity are increased by saltinduced proteolysis in cashew leaves. **Journal of Plant Physiology**, v. 160, p. 115-123, 2003.

SINFIELD J. V.; FAGERMAN, D.; COLIC, O. Evaluation of sensing Technologies for on-the-go detection of macro-nutrients in cultivated soils. **Comput. Electron. Agric.**, v. 70, n. 1, p. 1-18, 2010.

SMEAL, D.; ZHANG, H. Chlorophyll meter evaluation for nitrogen management in corn. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 25, n. 9/10, p. 1495-1503, 1994.

SMIRNOFF, N. The role of active oxygen in the response of plants to water deficit and desiccation. **New Phytologist**, v.125, p.27-58, 1993.

SORATTO, R. P.; CARVALHO, M. A. C. de; ARF, O. Teor de clorofila e produtividade do feijoeiro em razão da adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 9, p. 895-901, 2004.

SU, S.; ZHOU, Y.; QIN, J.G.; WANG, W.; YAO, W.; SONG, L. Physiological responses of *Egeria densa* to high ammonium concentration and nitrogen deficiency. **Chemosphere**, Amsterdam, v. 86, n. 5, p. 538–545, 2012.

SUTHERLAND, J.M.; ANDREWS, M.; McINROY, S.; SPRENT, J.I. The distribution of nitrate assimilation between root and shoot in *Vicia faba* L. **Annals of Botany**, London, v.56, n.2, p.259-265, 1985.

TIMPO, E.E.; NEYRA, C.A. Expression of nitrate and nitrite reductase activities under various forms of nitrogen nutrition in *Phaseolus vulgaris* L. **Plant Physiology**, Rockville, v.72, p. 71-75, 1983.

VALE, A. T.; BRASIL, M. A. M.; LEÃO, A. L. Quantificação e caracterização energética da madeira e casca de espécies do cerrado. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 1, p. 71-80, 2002.

VAN HANDEL, E. Direct microdetermination of sucrose. **Analytical Biochemistry**, v. 22, p. 280-283. 1968.

VEITH, R.; KOMOR, E. Regulation of growth, sucrose storage and ion content in sugarcane cells, measured with suspension cells in continuous culture grown under nitrogen, phosphorus or carbon limitation. **Journal of Plant Physiology**, Stuttgart, v. 142, p. 414-424, 1993.

VELÁSQUEZ-MÁRQUEZ, S.; CONDE-MARTÍNEZ, V.; TREJO, C.; DELGADO-ALVARADO, A.; CARBALLO, A.; SUÁREZ, R.; MASCORRO, J. O.; TRUJILLO, A. R. Effects of water deficit on radicle apex elongation and solute accumulation in *Zea mays* L. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 96, p. 29-37, 2015.

VIANA, E. M.; KIEHL, J. de C. Doses de nitrogênio e potássio no crescimento do trigo. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 4, p. 975-982, 2010.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia Básica e Aplicações**. Viçosa: Editora UFV, 1991. 446 p.

VIEIRA H.; CHAVES, L. H. G.; VIEGAS, R. A. Crescimento inicial de moringa (*Moringa oleifera* Lam) sob omissão de nutrientes. **Revista Caatinga**, Mossoro, v. 21, n. 4, p. 51-56, 2008.

WANG, C.; SONG, H. Z.; PEI F. W.; WEI, L.; JIE, L. Effects of ammonium on the anti oxidative response in *Hydrilla Verticillata* (L.f.) Royle plants. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, Maryland Heights, v. 73, n. 2, p. 189-195, 2010.

WEATHERBURN, M. W. Phenol hypochlorite reaction for determination of ammonia. **Analytical Chemistry**. v. 39, p. 971-974, 1967.

WONG, M. Visual symptoms of plant nutrient deficiencies in nursery and landscape plants. **Soil and Crop Management**, Quebec, v. 1, n. 1, p. 1-4, 2005.

WOODWARD, A. J.; BENNETT, I. J. The effect of salt stress and abscisic acid on proline production, chlorophyll content and growth of in vitro propagated shoots of *Eucalyptus camaldulensis*. **Plant Cell Tissue and Organ Cult.**, v. 82, p. 189-200, 2005.

XU, Y.C.; ZHAO, B.L. The main origin of endogenous NO in higher non-leguminous plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, Paris, v.41, p. 833-838, 2003.

YANG, Y.; ZHANG, M.; LI, Y.C.; FAN, X.; GENG, Y. Controlled release urea improved nitrogen use efficiency, activities of leaf enzymes, and rice yield. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 76, p. 2307-2317, 2012.

YARED, J.A.G. Silvicultura de algumas espécies nativas da Amazônia. In: Congresso Florestal Brasileiro, 6. **Anais...** Campos do Jordão, 1990, v. 1, p.119-122.

ZHU, Z.; GERENDÁS, J.; BENDIXEN, R.; SCHINNER, K.; TABRIZI, H.; SATTELMACHER, B.; HANSEN, U. P. Different tolerance to light stress in NO_3^- and NH_4^+ grown *Phaseolus vulgaris* L. **Plant biology**, Stuttgart, v. 2, n. 5, p. 558–570, 2000.

6. CONCLUSÕES GERAIS

A maioria das características de crescimento e trocas gasosas das mudas de *T. vulgaris* foram influenciadas positivamente pela adubação nitrogenada. Quanto às fontes de N utilizadas, as maiores médias de altura, diâmetro do coleto, massa de matéria seca de raiz, bem como os melhores índices das relações entre altura e diâmetro do coleto e entre massa de matéria seca de parte aérea e raiz, foram obtidos com a aplicação de nitrato de amônio e nitrato de cálcio.

A dose máxima empregada neste estudo (300 mg dm^{-3} de N) causou efeito negativo sobre todos os parâmetros morfológicos e as relações das características avaliadas, prejudicando a qualidade das mudas, para todas as fontes testadas. O menor crescimento das plantas cultivadas exclusivamente com amônio, o que foi o caso do fertilizante sulfato de amônio, pode estar associado à menor atividade fotossintética dessas plantas, em virtude da ação negativa desse íon sobre a condutância estomática, o que refletiu no menor crescimento e produção de biomassa.

Em relação a resposta bioquímica das mudas de *T. vulgaris*, a redução na concentração de proteínas na folha com o nitrato de amônio e nitrato de cálcio, e na raiz considerando apenas as doses aplicadas, pode estar relacionada a formação de espécies reativas de oxigênio, ocasionado pelo excesso de nitrato, provocando danos aos fotossistemas pela inibição da síntese de proteínas. O acúmulo de aminoácidos na folha e raiz foi influenciado positivamente pela aplicação de N, ocorrendo a máxima acumulação com a fonte nitrato de amônio, em doses próximas de 225 mg dm^{-3} . O aumento do teor de aminoácidos na folha e raiz pode ser uma estratégia da planta como meio de contribuir para desintoxicação das espécies reativas de oxigênio. A conversão do nitrato em aminoácidos pela raiz demonstrou ser dependente da oxidação dos carboidratos, causando a redução da concentração desse soluto com o aumento do fornecimento de NO_3^- .

O crescimento de mudas de *T. vulgaris* é afetado pela presença de ambas as formas do nitrogênio na adubação (NO_3^- e NH_4^+), sendo que a combinação das duas formas de N apresentou a maior média da atividade da enzima nitrato redutase e maior incremento do teor de clorofila total, em doses próximas de 225 mg dm^{-3} .

Com base nos resultados, para produção de mudas de tachi-branco (*Tachigali vulgaris*) recomenda-se a dose de $173,3 \text{ mg dm}^{-3}$ de N, aplicado de forma parcelada, aos 25, 50, 75 e 100 dias, com o fertilizante nitrato de amônio.