



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM HORTICULTURA
TROPICAL**

EWERTON GONÇALVES DE ABRANTES

**INFLUÊNCIA DO SILÍCIO NA NUTRIÇÃO NITROGENADA
DA BERINJELA**

**POMBAL - PB
2014**

EWERTON GONÇALVES DE ABRANTES

**INFLUÊNCIA DO SILÍCIO NA NUTRIÇÃO NITROGENADA
DA BERINJELA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Campina Grande, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Horticultura Tropical, para obtenção do título de mestre.

Orientador: Prof. DSc. Josinaldo Lopes Araujo

POMBAL - PB

2014

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA SETORIAL
CAMPUS POMBAL/CCTA/UFCG**

DIS

A161i Abrantes, Ewerton Gonçalves de.

**Influência do silício na nutrição nitrogenada da berinjela / Ewerton Gonçalves de
Abrantes. - Pombal, 2014.
73fls.**

**Dissertação (Mestrado em Horticultura Tropical) – Universidade Federal de
Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2014.**

"Orientação: Prof.º Dr.º Josinaldo Lopes Araújo".

Referências.

**1. Berinjela - *Solanum melongena* L. 2. Nutrição Nitrogenada. 3. Silício. I. Araújo,
Josinaldo Lopes . II. Título.**

UFCG/CCTA

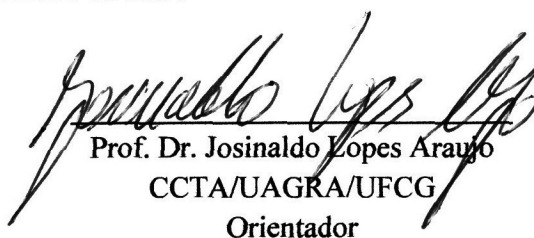
CDU 635.646+631.836

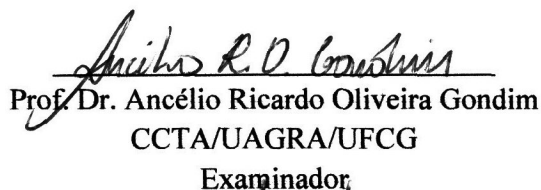
EWERTON GONÇALVES DE ABRANTES

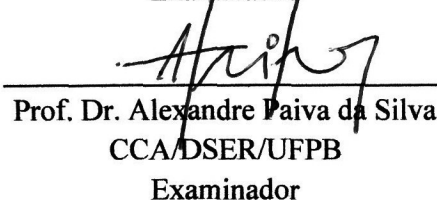
**INFLUÊNCIA DO SILÍCIO NA NUTRIÇÃO NITROGENADA
DA BERINJELA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Campina Grande, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Horticultura Tropical, para obtenção do título de mestre.

Aprovada em: 26 de fevereiro de 2014


Prof. Dr. Josinaldo Lopes Araujo
CCTA/UAGRA/UFCG
Orientador


Prof. Dr. Ancélrio Ricardo Oliveira Gondim
CCTA/UAGRA/UFCG
Examinador


Prof. Dr. Alexandre Paiva da Silva
CCA/DSER/UFPB
Examinador

**POMBAL - PB
2014**

*Aos meus pais, Maria dos
Remédios Gonçalves de Abrantes e
Francisco Abrantes Sarmento; aos meus
irmãos Paula Gonçalves de Abrantes e
Franklin Gonçalves de Abrantes.*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Campina Grande e ao Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar pela infraestrutura utilizada no desenvolvimento da pesquisa.

Ao Programa de Pós-Graduação em Horticultura Tropical, aos professores e alunos que de alguma forma ajudaram na realização deste trabalho.

À CAPES pela concessão da bolsa.

Ao professor Josinaldo Lopes Araujo pelos ensinamentos, confiança e orientação.

Aos professores Alexandre Paiva da Silva e Railene Hérica Carlos Rocha Araujo pela atenção, pelas sugestões e pela disponibilidade durante a realização do projeto.

Ao professor Ancélio Ricardo Oliveira Gondim pelas valiosas colaborações.

Aos professores Francisco Hevilásio Pereira Freire e Franciscleudo Bezerra Costa pela disponibilidade do laboratório de Fisiologia Vegetal e Laboratório de Análise de Alimentos, respectivamente, para as análises realizadas.

Aos colegas Maurício Cavalcante de Novaes e Kariolânia Fortunato pela colaboração na realização do experimento.

Aos laboratoristas Francisco Alves da Silva (Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas), Joyce Emanuele de Medeiros (Laboratório de Fisiologia Vegetal) e Verlânia Fabíola de Sousa Farias (Laboratório de Análise de Alimentos).

Ao professor Walter Esfrain Pereira (CCA/UFPB) pela colaboração nas análises estatísticas.

Aos colegas do curso Francisco de Sales, Fábio e Aldair.

Aos professores que acompanharam e contribuíram para o meu desenvolvimento na instituição de ensino.

LISTA DE TABELAS

	Pág.
Tabela 1 Atributos químicos e físicos do solo	12
Tabela 2 Coeficiente de correlação linear de Pearson entre as variáveis, matéria seca de folhas (MSF), matéria seca de caule (MSC), matéria seca de raízes (MSR), índice de área foliar (IAF), concentração interna de CO ₂ (Ci), taxa de transpiração (E), condutância estomática (Gs), taxa fotossintética (A) e teores foliares de Si	26
Tabela 3 Coeficiente de correlação linear de Pearson entre as variáveis matéria seca de folhas (MSF), matéria seca de caule (MSC), matéria seca de raízes (MSR), índice de área foliar (IAF), teor de Si nas folhas e aos teores das frações de nitrogênio nas partições de matéria seca	27
Tabela 4 Coeficiente de correlação linear de Pearson entre as variáveis relacionadas às trocas gasosas concentração interna de CO ₂ (Ci), taxa de transpiração (E), condutância estomática (Gs), taxa fotossintética (A) e aos teores das frações de nitrogênio nas partições de matéria seca	28
Tabela 5 Conteúdo intercelular de CO ₂ (Ci), transpiração (E), condutância estomática (Gs) e taxa fotossintética (A) de plantas de berinjela em função da aplicação foliar com Si	32
Tabela 6 Teores e acúmulos de nitrogênio amoniacal (N-NH ₄ ⁺), nítrico (N-NO ₃ ⁻), orgânico (N-Org) e total (N-Tot) nas folhas de plantas de berinjela em função da aplicação foliar com Si	34
Tabela 7 Teores e acúmulos de nitrogênio amoniacal (N-NH ₄ ⁺), nítrico (N-NO ₃ ⁻), orgânico (N-Org) e total (N-Tot) em caules de plantas de berinjela em função da aplicação foliar com Si	36
Tabela 8 Teores e acúmulos de nitrogênio amoniacal (N-NH ₄ ⁺), nítrico (N-NO ₃ ⁻), orgânico (N-Org) e total (N-Tot) em raízes de plantas de berinjela em função da aplicação foliar com Si	37
Tabela 9 Coeficiente de correlação linear de Pearson entre as variáveis, matéria seca de folhas (MSF), matéria seca de caule (MSC), matéria seca de raízes (MSR), índice de área foliar (IAF), concentração interna de CO ₂ (Ci), taxa de transpiração (E), condutância estomática (Gs), taxa fotossintética (A) e teores foliares de Si	40
Tabela 10 Coeficiente de correlação linear de Pearson entre as variáveis matéria seca de folhas (MSF), matéria seca de caule (MSC), matéria seca de raízes (MSR), índice de área foliar (IAF), teor de Si nas folhas e aos teores das frações de nitrogênio nas partições de matéria seca	41
Tabela 11 Coeficiente de correlação linear de Pearson entre as variáveis relacionadas às trocas gasosas concentração interna de CO ₂ (Ci), taxa de transpiração (E), condutância estomática (Gs), taxa fotossintética (A) e aos teores das frações de nitrogênio nas partições de matéria seca	42
Tabela 12 Produção de frutos da berinjela em função de doses de nitrogênio e de silício via foliar ...	43

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Massa seca das folhas (A), do caule (B) e das raízes (C) e índice de área foliar (D) de plantas de berinjela em função das doses de N	18
Figura 2 Transpiração (A), taxa fotossintética (B), concentração intercelular de CO ₂ (C) e condutância estomática (D) de plantas de berinjela em função das doses de N	19
Figura 3 Teores de nitrogênio amoniacal (A), total (B) e orgânico (C) em folhas de plantas de berinjela em função das doses de N e Si via radicular	20
Figura 4 Teor de nitrogênio nítrico em função das doses de N (A) e Si (B), e acúmulo de nitrogênio amoniacal (C), nítrico (D), orgânico e total (E) em função das doses de N em folhas de plantas de berinjela	21
Figura 5 Teores de N amoniacal e nítrico (A), orgânico e total (B), acúmulos de nitrogênio amoniacal (C), nítrico (D), orgânico e total (E) em caule de plantas de berinjela em função das doses de N.....	22
Figura 6 Teor de nitrogênio amoniacal (A), orgânico e total (B), e acúmulo de nitrogênio amoniacal (C), orgânico e total (D) em raízes de plantas de berinjela em função das doses de N	23
Figura 7 Teor (A) e acúmulo (B) de nitrogênio nítrico em raízes de plantas de berinjela em função das doses de N	24
Figura 8 Eficiência de utilização de nitrogênio (EUN) de plantas de berinjela em função das doses de N	25
Figura 9 Teor de silício em folhas de plantas de berinjela em função das doses de N (A) e Si (B) via radicular	25
Figura 10 Matéria seca das folhas (A), do caule (B) e das raízes (C), diâmetro do caule (D) e altura da planta (E) de plantas de berinjela em função das doses de N	30
Figura 11 Concentração intercelular de CO ₂ (A), transpiração (B), condutância estomática (C) e taxa fotossintética (D) em plantas de berinjela em função das doses de N	31
Figura 12 Teor de nitrogênio amoniacal e nítrico (A), orgânico e total (B), acúmulo de nitrogênio nítrico (C), orgânico (D) e total (E) em folhas de plantas de berinjela em função das doses de N	33
Figura 13 Teor de nitrogênio amoniacal e nítrico (A), orgânico e total (B), acúmulos de nitrogênio amoniacal (C), nítrico (D), orgânico (E) e total (F) em caule de plantas de berinjela em função das doses de N	35
Figura 14 Teor de nitrogênio amoniacal e nítrico (A), orgânico e total (B), acúmulos de nitrogênio amoniacal (C) e nítrico (D) em raízes de plantas de berinjela em função das doses de N ..	37
Figura 15 Eficiência de utilização de nitrogênio (EUN) em plantas de berinjela em função das doses de N	38
Figura 16 Teor de silício em folhas de plantas de berinjela em função das doses de N	39
Figura 17 Diâmetro longitudinal (A) e transversal (B), firmeza (C), °Brix (D), pH da polpa (E), teor de vitamina C (F) e acidez titulável (G) de frutos de plantas de berinjela em função das doses de N	45

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Tabela 1A Resumo da análise de variância para valores da massa seca das folhas (MSF), do caule (MSC), e das raízes (MSR), índice de área foliar (IAF) de plantas de berinjela em função de doses de N, Si via radicular e interação N x Si	56
Tabela 2A Resumo da análise de variância para valores de concentração intercelular de CO ₂ (Ci), taxa de transpiração (E), condutância estomática (Gs) e taxa fotossintética (A) de plantas de berinjela em função de doses de N, Si via radicular e interação N x Si	56
Tabela 3A Resumo da análise de variância para teor de nitrogênio amoniacal (N-NH ₄ ⁺), nítrico (N-NO ₃ ⁻), orgânico (N-Org) e total (N-Total) nas folhas, caule e raízes de plantas de berinjela em função de doses de N, Si via radicular e interação N x Si	57
Tabela 4A Resumo da análise de variância para acúmulo de nitrogênio amoniacal (N-NH ₄ ⁺), nítrico (N-NO ₃ ⁻), orgânico (N-org) e total (N-total) nas folhas, caule e raízes de plantas de berinjela em função de doses de N, Si via radicular e interação N x Si	58
Tabela 5A Resumo da análise de variância eficiência de utilização de nitrogênio (EUN) e teor de Si nas folhas de plantas de berinjela em função de doses de N, Si via radicular e interação N x Si	58
Tabela 6A Resumo da análise de variância para valores da massa seca das folhas (MSF), do caule (MSC) e de raízes (MSR) de plantas de berinjela em função de doses de N, Si via foliar e interação N x Si	59
Tabela 7A Resumo da análise de variância para valores de índice de área foliar (IAF), altura das plantas (ALT) e diâmetro do caule (DC) de plantas de berinjela em função de doses de N, Si via foliar e interação N x Si	59
Tabela 8A Resumo da análise de variância para valores de concentração intercelular de CO ₂ (Ci), taxa de transpiração (E), condutância estomática (Gs) e taxa fotossintética (A) de plantas de berinjela em função de doses de N, Si via foliar e interação N x Si	59
Tabela 9A Resumo da análise de variância para teores de nitrogênio amoniacal (N-NH ₄ ⁺), nítrico (N-NO ₃ ⁻), orgânico (N-Org) e total (N-Total) nas folhas, caule e raízes de plantas de berinjela em função de doses de N, Si via foliar e interação N x Si	60
Tabela 10A Resumo da análise de variância para acúmulo de nitrogênio amoniacal (N-NH ₄ ⁺), nítrico (N-NO ₃ ⁻), orgânico (N-Org) e total (N-Total) nas folhas, caule e raízes de plantas de berinjela em função de doses de N, Si via foliar e interação N x Si	61
Tabela 11A Resumo da análise de variância para eficiência de utilização de nitrogênio (EUN) e teor de Si nas folhas de plantas de berinjela em função de doses de N, Si via foliar e interação N x Si	61
Tabela 12A Resumo da análise de variância para valores de número de frutos (NF), diâmetro longitudinal (DL) e transversal (DT), peso médio dos frutos (PMF) e firmeza (F) de frutos de berinjela em função de doses de N, Si via foliar e interação N x Si	62
Tabela 13A Resumo da análise de variância para valores de pH da polpa, °Brix, vitamina C e acidez titulável de frutos de berinjela em função de doses de N, Si via foliar e interação N x Si.	62

SUMÁRIO

RESUMO	i
ABSTRACT	iii
1 INTRODUÇÃO	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO	3
2.1 Cultura da berinjela	3
2.2 Nitrogênio nas plantas	4
2.3 Silício nas plantas	7
2.4 Interação nitrogênio e silício	11
3 MATERIAL E MÉTODOS	12
3.1 Local do experimento e caracterização do solo	12
3.2 Primeiro experimento	13
3.3 Segundo experimento	15
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
4.1 Primeiro experimento	17
4.1.1 Produção de matéria seca e trocas gasosas	17
4.1.2 Nutrição nitrogenada	19
4.1.3 Teor foliar de silício	25
4.1.4 Correlações	26
4.2 Segundo experimento	29
4.2.1 Produção de matéria seca e trocas gasosas	29
4.2.2 Nutrição nitrogenada	32
4.2.3 Teor foliar de silício	39
4.2.4 Correlações	39
4.2.5 Produção e qualidade dos frutos	42
5 CONCLUSÕES	47
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
APÊNDICE	56

RESUMO

ABRANTES, Ewerton Gonçalves de. Influência do silício na nutrição nitrogenada da berinjela, 2014. 73p.. Dissertação (Mestrado em Horticultura Tropical) - Universidade Federal de Campina Grande, Pombal – PB¹.

A berinjela (*Solanum melongena* L.) é uma hortaliça de fruto pertencente à família solanácea considerada exigente em nitrogênio para uma produção adequada. Dessa forma, o fornecimento de silício (Si) pode aumentar a eficiência da adubação nitrogenada e reduzir as doses a serem aplicadas. O trabalho teve por objetivo avaliar o efeito da adubação com N e Si e da interação N x Si sobre o crescimento, aspectos fisiológicos, nutrição nitrogenada e silicatada, visando ao aumento da eficiência da adubação nitrogenada, o aumento da produtividade e da qualidade dos frutos da berinjela. Dois experimentos, em delineamento inteiramente casualizado, foram conduzidos no Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar (CCTA/UFCG), *Campus* de Pombal-PB, com plantas de berinjela, cultivar “Embú”. No primeiro, os tratamentos foram constituídos por um arranjo fatorial 5 x 4, compreendendo 5 doses de N (25; 125; 250; 350 e 500 mg dm⁻³) e 4 doses de Si (0; 75; 150 e 200 mg dm⁻³) aplicados via radicular com quatro repetições. No segundo, os tratamentos foram constituídos por um arranjo fatorial 5 x 2, sendo 5 doses N (25; 125; 250; 350 e 500 mg dm⁻³) e 2 doses de Si (sem silício e aplicação foliar de uma solução 10 mmol L⁻¹ de Si) e seis repetições. Na fase de pré-florescimento foram avaliados o crescimento (produção de matéria seca das folhas, caule e de raízes e o índice de área foliar); as trocas gasosas, quais sejam taxa fotossintética, condutância estomática, taxa de transpiração e concentração intercelular de CO₂; os teores e acúmulos das frações de nitrogênio (NO₃⁻, NH₄⁺, total e orgânico), a estimativa da eficiência de utilização do N (EUN) e o teor de Si nas folhas. No segundo experimento, além das variáveis citadas, foram avaliados também o número de frutos por planta, produção por planta, o peso médio dos frutos, o diâmetro longitudinal e transversal, a firmeza, °Brix, o pH da polpa, o teor de vitamina C e a acidez titulável. A adubação nitrogenada proporcionou aumentos na produção de matéria seca, nas trocas gasosas, nos teores das frações de N assim como seus respectivos acúmulos, elevou os atributos de qualidade dos frutos, porém diminuiu o teor de Si nas folhas e a eficiência de utilização de N (EUN). A adubação silicatada aplicada via radicular elevou o teor e acúmulo de N-NH₄⁺ nas folhas, o acúmulo de N-NH₄⁺ nas raízes, e o teor de Si nas folhas, o teor e o acúmulo de N-NO₃⁻ nas raízes, e diminuiu o teor e o acúmulo de N-NO₃⁻ nas folhas, sem influenciar no crescimento e nas trocas gasosas. A adubação silicatada aplicada via foliar influenciou negativamente nas taxas de transpiração e fotossintética; diminuiu os teores de N-NH₄⁺ nas folhas, N-NO₃⁻, N-orgânico e N-total no caule, e aumentou o teor de N-NO₃⁻ nas raízes; influenciou positivamente na EUN; proporcionou aumentos no tamanho dos frutos, no °Brix, e diminuiu a acidez titulável dos frutos. Concluiu-se que a berinjela respondeu positivamente a adubação nitrogenada, proporcionando aumentos no crescimento, nas trocas gasosas, nos teores das frações de N, porém com efeito negativo na EUN e no teor foliar de Si. O silício exerceu influência nos teores foliares das frações de N e nitrato nas raízes, e na qualidade dos frutos.

Palavras-chave: *Solanum melongena* L., nitrogênio, silicato, trocas gasosas, crescimento.

¹ Orientador: Profº Josinaldo Lopes Araujo, CCTA/UFCG

ABSTRACT

ABRANTES, Ewerton Gonçalves de. Influence of silicon on nitrogen fertilization efficiency in eggplant, 2014. 73p. Dissertation (Master's degree in Tropical Horticulture) - Universidade Federal de Campina Grande, Pombal - PB¹

The eggplant (*Solanum melongena* L.) is a vegetable fruit that belongs to the solanaceous family, considered demanding in nitrogen for adequate production. So, the supply of silicon (Si) may increase the efficiency of nitrogen fertilization and reduces the doses to be applied. The study aimed to evaluate the fertilization effect with N and Si, and Si x N interaction on growth, physiological aspect, silicon and nitrogen nutrition, aiming at increasing the nitrogen efficiency fertilizer, and also increasing of productivity and eggplant fruit quality. Two experiments in completely randomized design were conducted at the Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar (CCTA/UFCG), Campus Pombal - PB, with eggplants cultivate "Embu". In the first experiment, treatments consisting of a 5 x 4 factorial arrangement, comprising 5 N rates (25, 125, 250, 350 and 500 mg dm⁻³) and 4 Si rates (0, 75, 150 and 200 mg dm⁻³) applied via root with four replications. In the second experiment, treatments consisting of a 5 x 2 factorial arrangement, with 5 N rates (25, 125, 250, 350 and 500 mg dm⁻³) and 2 Si rates (silicon and without foliar application of a 10 mmol L⁻¹ Si) and six replications. During pre-flowering, were evaluated growth (dry matter production of leaves, stems and roots, and leaf area index); gas exchanges, which are photosynthetic rate, stomatal conductance, transpiration rate and intercellular CO₂ concentration; the contents and accumulation of fractional nitrogen (NO₃⁻, NH₄⁺, and total and organic), the estimated N use efficiency (NUE) and Si content in the leaves. In the second experiment, in addition to the aforementioned variables were also evaluated the number of fruits per plant, yield per plant, average fruit weight, the longitudinal and transverse diameter, firmness, °Brix, the pH of the pulp, the vitamin content C and titratable acidity. Nitrogen fertilization increased the yield in dry matter production, gas exchange, the levels of N fractions as well as their accumulation, increased the quality attributes of the fruit, but decreased the Si content in leaves and N utilization efficiency (EUN). Silicon fertilization applied via roots elevated the content and accumulation of N-NH₄⁺ in the leaves, the accumulation of N-NH₄⁺ in the roots, and the Si content in the leaves, the concentration and accumulation of N-NO₃⁻ in roots and decreased and N-NO₃⁻ accumulation in leaves without influence on growth and gas exchange. Silicon fertilization foliar applied negatively influenced the rates of transpiration and photosynthesis; decreased levels of N-NH₄⁺ in leaves, N-NO₃⁻, N-organic and N-total in the stem, and increased the content of N-NO₃⁻ in roots; positively influenced the NUE; yielded increases in fruit size, in °Brix, and decreased acidity of the fruits. It was concluded that eggplant responded positively to nitrogen fertilization, providing increases in growth, gas exchange, the levels of N fractions, but with a negative effect on NUE and leaf content in Si. Silicon exerted influence on foliar concentrations of fractions N and nitrate in roots, and fruit quality.

Keywords: *Solanum melongena* L., nitrogen, silicate, gas exchanges, growth.

¹ Orientador: Prof^o Josinaldo Lopes Araujo, CCTA/UFCG

1. INTRODUÇÃO

A berinjela (*Solanum melongena* L.) é uma solanácea originária do continente asiático cultivada há séculos por chineses e árabes, e introduzida no Brasil pelos portugueses, no século XVI (FILGUEIRA, 2008). Seu consumo vem crescendo nos últimos anos devido ao reconhecimento de suas propriedades nutraceuticas que auxiliam na prevenção de doenças cardiovasculares, na redução dos níveis de colesterol no sangue, além de representar boa fonte de fibras, sais minerais e vitaminas (GONÇALVES et al., 2006),

O nitrogênio (N) atua nas plantas superiores como componente estrutural de macromoléculas e constituinte de enzimas, aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos e clorofilas (MALAVOLTA et al., 1997; TAIZ; ZEIGER, 2004; FAQUIN, 2005), sendo o nutriente que mais frequentemente limita o crescimento vegetal (MALAVOLTA et al., 1997). Plantas com deficiência de N exibem crescimento retardado, folhas cloróticas, florescimento prematuro e encurtamento do ciclo. No entanto, o excesso de N acelera o desenvolvimento da parte aérea e diminui o crescimento radicular (TAIZ ZAIGER, 2004) podendo ocasionar um desequilíbrio nutricional (CHABOUSSOU, 1987).

O silício (Si) apesar de promover aumentos no crescimento e produtividade de algumas mono (arroz e cana-de-açúcar) e dicotiledôneas (tomate, pepino e soja) ainda é um elemento considerado útil às plantas (MIYAKE; TAKAHASHI (1978, 1983, 1985), BARBOSA FILHO et al (2000)). Dentre os benefícios providos por este elemento, destaca-se a resistência a estresses bióticos (ataque às plantas por herbivoria e doenças fúngicas); e abióticos como na melhoria da arquitetura da planta, na redução da taxa transpiratória, no aumento da interceptação luminosa e o melhor aproveitamento de alguns nutrientes, a exemplo do N (MAUAD et al., 2003; MA; YAMAJI, 2006; EPSTEIN; BLOOM, 2006; ÁVILA et al., 2010).

O Si é absorvido pela planta na forma de ácido silícico (H_4SiO_4), molécula não carregada eletricamente, sendo desta forma translocado para a parte aérea onde se polimeriza formando estruturas denominadas de opala fitolítica, que se depositam nos órgãos de maior transpiração como o caule e as folhas (MA; YAMAJI, 2006). Segundo Faquin (2005) as dicotiledôneas como a berinjela são consideradas plantas não acumuladoras de Si possuindo em seus tecidos teores inferiores a 5 g kg^{-1} de SiO_2 , em função de algum mecanismo de absorção rejeitiva.

Acredita-se que o fornecimento de Si às plantas pode aumentar a eficiência da adubação nitrogenada. Essa hipótese baseia-se no fato de que a assimilação primária de CO_2 e

N ocorre no cloroplasto, e ambos competem pelo poder redutor, devido ao baixo K_m da rubisco em relação à glutamato desidrogenase ou à glutamina sintase, o que favorece a assimilação de CO_2 . Assim o Si pode favorecer o acúmulo de energia ao elevar a taxa fotossintética aumentando a produção de poder redutor (NAPD, NADPH, etc), que fornece energia para a assimilação de CO_2 proporcionando, assim, maior produção de carboidratos derivados da fotossíntese, e portanto, maior produção (SNYDER et al., 2004; ÁVILA et al., 2010).

O trabalho teve por objetivo avaliar o efeito da adubação com N e Si sobre o crescimento, aspectos fisiológicos, nutrição nitrogenada e silicatada, produtividade e a qualidade de frutos de berinjela.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Cultura da berinjela

A berinjela é uma planta de porte arbustivo que pode atingir até 1,8 m de altura e sistema radicular até 1 m de profundidade (FILGUEIRA, 2008). As folhas são alternas, simples com pecíolos entre 2 e 10 cm de comprimento; limbo de formato ovado ou oblongo-ovado, com densa pilosidade acinzentada, e que pode apresentar espinhos nos ramos, pecíolos e folhas dependendo da cultivar. As flores são hermafroditas, de cor violácea, possuindo de 4 a 5 cm de diâmetro. Os frutos são grandes, do tipo baga, de formato variável (oval, oblongo, redondo, oblongo-alongado, alongado etc.), normalmente brilhantes, de coloração branca, rosada, zebrina, amarela, púrpura ou preta (EMBRAPA HORTALIÇAS, 2013).

Segundo a FAO (2013) a produção mundial de berinjela em 2012 foi liderada pela China (28,8 mil t), seguido pela Índia (12,2 mil t) e Irã (1,3 mil t), sendo que dados de produção do Brasil neste mesmo ano são inexistentes. De acordo com o último censo agropecuário (IBGE, 2006), a produção brasileira de berinjela em 2006 foi de cerca de 78.217 t sendo os estados de São Paulo e Minas Gerais os maiores produtores com produção de 33.195 e 15.319 toneladas, respectivamente, enquanto no estado da Paraíba a produção foi de apenas 150 t.

Considerando que o cultivo da berinjela é tipicamente tropical e favorecido pelo calor e luminosidade (FILGUEIRA, 2008), acredita-se que na região semiárida do nordeste brasileiro, por apresentar condições climáticas favoráveis, possam ser ampliadas às áreas cultivadas com esta hortaliça, aumentando, assim a oferta do produto.

A cultura da berinjela é considerada tolerante a solos ácidos porém com melhor desempenho em valores de pH's na faixa de 5,5 a 6,8 (FILGUEIRA, 2008). Desenvolve-se bem em solos areno-argilosos, bem drenados e com valores de saturação de bases em torno de 70 % (RIBEIRO et al., 1998). Segundo Hedge (2013) a cultura da berinjela é muito exigente em nutrientes, podendo extrair do solo até 190 kg de N, 10,9 kg de P e 128 kg de K para uma produção de 60 toneladas.

2.2. Nitrogênio nas plantas

O nitrogênio (N) é um nutriente de grande demanda metabólica e o que mais frequentemente limita o crescimento vegetal (MALAVOLTA et al., 1997; EPSTEIN; BLOOM, 2006). No solo, a sua dinâmica é influenciada por vários fatores, tais como a umidade, a presença do oxigênio, pH e ação de microrganismos, que afetam o nível de oxidação. No solo o nitrogênio pode ser encontrado na forma de nitrato (N-NO_3^-), nitrito (N-NO_2^-), amônio (N-NH_4^+) e formas orgânicas, que podem representar até 98% da reserva total do nitrogênio total no solo (FURTINI NETO et al., 2001; CANTARELLA, 2007).

Os tecidos vegetais apresentam, de maneira geral, teores de N que variam de 20 a 50 g kg^{-1} (FAQUIN, 2005), podendo variar conforme a espécie, estágio de desenvolvimento e o órgão analisado (MARSCHENER, 1995). Cerca de 90 % do N da planta encontra-se em formas orgânicas e é assim que desempenha suas funções estruturais e de constituintes celulares em plantas superiores (MALAVOLTA et al., 1997; TAIZ; ZEIGER, 2004; FAQUIN, 2005). Segundo Barker e Bryson (2004) a maior porção do nitrogênio total nas plantas encontra-se na forma de proteínas (85%); outras formas de N incluindo os ácidos nucleicos (DNA e RNA), perfazem 5% do total, e de 5 a 10% corresponde a formas de N de baixo peso molecular, sendo o restante composto pelas formas inorgânicas, tais como amônio e nitrato.

As plantas podem absorver o N na forma de amônio e, ou nitrato dependendo das condições do solo. Contudo, em solos com pH favorável a nitrificação, o N-NO_3^- geralmente é a principal forma de N absorvida, porém segundo Epstein e Bloom (2006) o amônio é a forma inorgânica preferida de muitas plantas e sua disponibilidade nos solos geralmente sofre menores variações comparando-se com nitrato.

Segundo Epstein e Bloom (2006) o sistema de transporte de íons NH_4^+ para o interior da membrana é do tipo passivo uniporte, ou seja, a favor de um gradiente de potencial eletroquímico sem troca por outro íon de mesma carga, enquanto que o sistema de transporte para íons NO_3^- é do tipo ativo simporte, ou seja, contra um gradiente de potencial eletroquímico, neste caso, dois íons H^+ entra simultaneamente, o que fornece a energia necessária para o influxo de NO_3^- .

Quando absorvido como nitrato, o N precisa ser reduzido para amônio para ser incorporado em compostos orgânicos. Nessa etapa o processo é mediado pela enzima redutase do nitrato, que utiliza NADH ou NADH(P) como poder redutor e converte nitrato em nitrito. O nitrito é tóxico para as plantas, sendo transportado para os cloroplastos nas folhas ou para os

plastídios nas raízes para ser convertido a amônio pela enzima redutase do nitrito. O amônio gerado é rapidamente convertido em aminoácidos, devido sua capacidade de despolarização da membrana plasmática. Esta conversão inicia-se com as ações das enzima glutamina sintetase e da glutamato sintase, combinando glutamato com amônio e formando uma amida, a glutamina. Após a conversão do amônio em glutamina ocorrem reações de transaminação, incorporando o N em outros aminoácidos (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

Quando absorvido na forma de N-NO_3^- o N pode ser transportado como tal para a parte aérea, caso não tenha sido reduzido nas raízes para nitrito e assim para amônio. Quando absorvido na forma de amônio, o N pode ser assimilado já nas raízes na forma de aminoácidos e assim transportado para a parte aérea. Dessa forma, o N-NO_3^- e os aminoácidos são as principais formas de transporte de N no xilema de plantas superiores (FAQUIN, 2005).

O N é facilmente redistribuído nas plantas via floema, na forma de aminoácidos. Quando o suprimento de N pelo meio é insuficiente, o N das folhas velhas é mobilizado para os órgãos e folhas mais novas. Consequentemente, plantas deficientes em N mostram os sintomas primeiramente nas folhas velhas. Segundo Ghosh et al. (1995) no processo de remobilização, os compostos nitrogenados são degradados, e o N é liberado na forma de NH_4^+ , o qual é reassimilado e convertido para glutamina e asparagina principalmente, que serão translocados para os órgãos em crescimento e desenvolvimento. A proteólise das proteínas nessas condições e a distribuição de aminoácidos resultam no colapso dos cloroplastos e assim ocorre um decréscimo no conteúdo de clorofila. Por essa razão, o amarelecimento das folhas velhas é o primeiro sintoma de uma inadequada nutrição da planta em nitrogênio (FAQUIN, 2002; EPSTEIN; BLOOM, 2006).

Considerando que o nitrogênio, dependendo das condições do solo, pode facilmente ser perdido por lixiviação, volatilização e desnitrificação (RAIJ, 1991), seu manejo apropriado é fundamental, tanto para a redução do custo de produção, quanto para a minimização dos efeitos da poluição ambiental, principalmente provocada por nitrato, além de que altas doses de fertilizantes nitrogenados podem propiciar o desbalanço nutricional predispondo a planta ao acamamento e a incidência de pragas e doenças limitando a produção (CHABOUSSOU, 1987), além de ocasionar desordens fisiológicas, devido ao acúmulo de formas solúveis de N (WARNER et al., 2004). Dessa forma a eficiência da adubação nitrogenada pode ser maximizada com o uso da dose adequada, época apropriada de aplicação, manejo adequado da irrigação e aumento da eficiência das culturas na utilização deste nutriente (ÁVILA et al., 2010).

De maneira geral as solanáceas, como a berinjela são muito exigentes em nitrogênio. De acordo com Ferreira et al. (2003), a elevação nas doses de N tomateiro aumentou o peso de matéria seca das raízes, do caule e das folhas, o peso dos frutos, a altura da planta, o número de folhas, a área foliar, o florescimento, a frutificação e a produtividade.

Ao avaliar o efeito de doses de N em tomateiro cv. Santa Clara em um Argissolo Vermelho Amarelo, Ferreira et al. (2003) observaram aumento na produção de frutos comerciais com o incremento das doses, obtendo-se 90% da máxima produção econômica (42,8 t ha⁻¹) com cerca de 260 kg ha⁻¹. Para o cultivo do melão em ambiente protegido, Coelho et al. (2003) observaram que as doses de N influenciaram positivamente na produção comercial, o diâmetro do fruto, a acidez titulável, mas não influenciaram no °Brix e no pH da polpa dos frutos.

Na melancia submetida a doses de N Barros et al (2012) observaram efeito positivo das doses de N nos valores de firmeza do fruto, sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), conteúdo de açúcares redutores, teor de ácido ascórbico e na relação SS/AT, não observando influência sobre o pH da polpa. Porto (2013) ao avaliar fontes e doses de N na cultura do tomateiro observou que o aumento das doses proporcionou aumento no número de frutos, na produção, produtividade e no tamanho dos frutos, embora tenha afetado negativamente os teores de ácido ascórbico e a acidez titulável dos frutos.

Kirimi et al. (2011) ao avaliarem o efeito de doses de N e espaçamentos na produtividade e qualidade de frutos de tomateiro observaram que doses maiores (120 kg ha⁻¹) reduziu o número e a produção de frutos comerciais e total. Os autores notaram ainda que a maior dose atrasou a maturidade, aumentou o crescimento vegetativo e diminuiu o número de flores e a produção de frutos; por outro lado, na menor dose registrou-se clorose nas folhas, redução na absorção de luz e produção de fotossintatos, o que causou aborto de flores e frutos.

Segundo Aminifard et al. (2010) a magnitude das respostas da berinjela em função das doses de N têm variações em função das condições ambientais e da cultivar testada. Ao avaliar o efeito de doses de N no crescimento e produção de berinjela, Oloniruha (2009) observou que na maior dose houve a maior altura de planta e maior número de folhas por planta. Na produção de frutos o mesmo autor observou na dose de 70 kg ha⁻¹ de N ocorreu a maior produtividade, evidenciando o aumento do crescimento vegetativo na maior dose que tenha provocado o declínio na produção. Babu et al. (2004) ao avaliarem a resposta de oito híbridos de berinjela a doses de N, observaram aumento na circunferência do fruto, no número de frutos e na produtividade de frutos.

Aminifard et al. (2010) ao cultivarem berinjela com doses de N observaram aumento no crescimento vegetativo da planta (altura da planta, número de ramificações laterais, número de folhas, teor de clorofila nas folhas) e na produtividade de frutos. Silva et al. (2012) ao avaliar o desenvolvimento de plantas de berinjela submetidas às doses de N observaram que a elevação das doses de N proporcionou aumento no diâmetro dos frutos, na massa fresca e produtividade e diminuição no número de frutos.

Ao avaliar as propriedades físico-químicas de frutos de berinjela em resposta a fertilização nitrogenada e ao tamanho do fruto, Akanbi et al. (2007) observaram que a dose de 80 kg ha⁻¹ de N proporcionou o maior valor do peso médio do fruto, maior número de sementes por fruto, proporcionou frutos menos ácidos, com maior teor de sólidos solúveis e maior teor de ácido ascórbico.

Ao avaliar o efeito de doses de N na produtividade e atributos de frutos de berinjela Moraditochae et al. (2011) observaram que as doses de N influenciaram positivamente na produção de frutos, no número de frutos por planta e nos valores de diâmetros longitudinal e transversal dos frutos, com dose ótima de 75 kg ha⁻¹ de N, o que resultou em produtividade estimada de 35 t ha⁻¹ e 6,34 frutos por planta.

2.3. Silício nas plantas

O silício (Si) é o segundo elemento mais abundante da crosta terrestre com teor médio de aproximadamente 270 g kg⁻¹ (INDA JÚNIOR et al, 2012), embora a maior parte do Si presente no solo seja insolúvel, e combinado na forma de óxidos ou silicatos, formas indisponíveis para as plantas (RICHMOND; SUSSMAN, 2003). O Si está presente na solução do solo até o pH 9 na concentração de 14 a 20 mg L⁻¹ (MARSCHNER, 1995) na forma de ácido monossilícico (H₄SiO₄) (GUNNARSON; ARNÓSSON, 2000) como é absorvido pelas plantas. Seu transporte até às raízes é realizado principalmente via fluxo de massa (JONES; HANDRECK, 1967; DAYANADAM et al., 1983).

Segundo Ma e Takahashi (2002) todas as plantas terrestres possuem Si em seus tecidos cujo teor pode variar de 10 a 100 g kg⁻¹ em base de matéria seca. Assim, as diferentes espécies de plantas variam na capacidade de acumular Si nos tecidos, podendo ser divididas em acumuladoras e não acumuladoras. Faquin (2005) cita que as acumuladoras incluem as gramíneas - como o arroz – as quais contêm de 100 a 150 g kg⁻¹ de SiO₂ na matéria seca; esse grupo inclui também alguns cereais, cana de açúcar e poucas dicotiledôneas, com teores bem

mais baixos, na ordem de 10 a 30 g kg⁻¹. As não acumuladoras são dicotiledôneas, como as leguminosas, com teores menores que 5 g kg⁻¹ de SiO₂. Segundo esses autores três formas de absorção de Si têm sido propostas: ativa, passiva e rejeitiva (absorção sem transporte), as quais são responsáveis pela alta, média e baixa capacidade das plantas de acumularem Si, respectivamente.

Segundo Wu et al. (2006) as diferenças na acumulação de Si entre as plantas têm sido atribuídos a habilidade de absorção de Si pelas raízes, proporcionada por transportadores específicos (MA et al. 2006). Os transportadores de Si pertencem à família das aquaporinas que são pequenas proteínas de membrana que facilitam o transporte passivo de substâncias não carregadas e água (GOMES et al. 2009).

O Si é transportado como H₄SiO₄ no xilema e sua distribuição na planta está relacionada com a taxa transpiratória das partes da planta. Essa distribuição depende muito da espécie: é uniforme nas plantas que acumulam pouco silício e nas acumuladoras, 90 % do elemento encontra-se na parte aérea (MALAVOLTA, 1980; MENGEL; KIRBY, 2001). Na planta, o Si ocorre com maior frequência nas regiões onde a água é perdida em grande quantidade, ou seja, na epiderme foliar junto às células guarda dos estômatos, iniciando o processo de silicificação, com a polimerização do ácido monossilícico nas paredes celulares, formando estruturas de sílica amorfa (SiO₂nH₂O), também conhecida por opala fitolítica (MA; TAKAHASHI, 2002), onde interage com compostos fenólicos e pectinas, condicionando rigidez e força estrutural (CURRIE; PERRY, 2007).

O Si exerce vários benefícios às plantas (EPSTEIN; BLOOM, 2006), atuando tanto como amenizador de estresses bióticos, como na resistência das plantas ao ataque de insetos em milho (GOUSSAIN et al. 2002), em trigo (BASSAGLI et al., 2003; GOMES, 2003), em arroz (BUCK et al., 2008) e em berinjela (ALMEIDA et al., 2008) e infecção fúngicas (SAVANT et al., 1997).

Além dos benefícios acima citados o Si pode atuar na resistência a estresses abióticos, tais como na redução da transpiração e melhoria da arquitetura da planta (MALAVOLTA, 1980; TAKAHASHI, 1995; MARSCHNER, 1995; KORNDÖRFER et al., 1999), redução da taxa de transpiração através do controle do mecanismo de abertura e fechamento dos estômatos (TAKAHASHI, 1995; KORNDÖRFER et al., 1999) no aumento da interceptação luminosa ao manter as folhas mais eretas (EPSTEIN, 1999) e no melhor aproveitamento de alguns nutrientes como o nitrogênio (MAUAD et al., 2003; MA; YAMAJI, 2006; EPSTEIN; BLOOM, 2006; ÁVILA et al., 2010).

Snyder et al. (2004) relatam que níveis suplementares de Si são responsáveis por produzir altas concentrações de ribulose bifosfato carboxilase nos tecido foliares, enzima responsável pela regulação do metabolismo do CO₂ e responsável, também, por promover uso mais eficiente deste gás pelas plantas.

Segundo Agarie et al. (1998) o aumento de produção de matéria seca promovida pelo fornecimento de Si foi resultado do decréscimo da transpiração ocasionada pelo aumento da sensibilidade do estômato e da resistência cuticular. Pilon (2011) ao avaliar o efeito do fornecimento de Si via radicular e foliar em plantas de batata (*Solanum tuberosum* L.) cultivadas com e sem deficiência hídrica, observou que os teores de pigmentos (clorofila a e b e carotenoides) foram superiores quando submetidas ao tratamento com Si, independente da forma de aplicação e do déficit hídrico, além de haver aumento da atividade da enzima catalase, quando a planta foi submetida ao déficit hídrico. O mesmo autor observou aumento na produção de matéria seca das folhas, no número de folhas e área foliar quando o Si foi aplicado no solo em condições de disponibilidade hídrica adequada.

Em citrus, Snyder et al. (2004) relataram aumento no crescimento, aceleração da maturação dos frutos e aumento na produtividade. Na alface Luz et al. (2006) observaram que em solução nutritiva com Si (1,5 mmol L⁻¹) ocorreu menor produção de matéria seca e fresca da parte aérea e radicular, porém sem alterar a qualidade comercial.

A influência do Si na absorção e translocação de vários nutrientes, também é citada por alguns autores. Pozza (2004), através de microanálise de raios X e do mapeamento para Si, verificaram maior quantidade de Fe, Cu e Zn em plantas tratadas com Si. Epstein (1994) cita a diminuição e, em alguns casos, a eliminação do efeito adverso do excesso de metais pesados no meio, na presença de Si (KLUTHCOUSKY; NELSON, 1979; MIYAKE; TAKAHASHI, 1985; HOURIGUCHI, 1988; SISTANI et al., 1997). Barbosa Filho et al. (2000) citam a função do Si na diminuição dos efeitos negativos provocados por excesso de N na cultura do arroz, diminuindo o acamamento das plantas, o excesso de crescimento vegetativo e aumentando a produtividade de grãos.

Miyake e Takahashi (1978, 1983, 1985) ao avaliar o efeito de Si no meio de cultivo (100 mg dm⁻³ de SiO₂) as culturas da soja, pepino e tomate, relataram uma maior viabilidade do pólen na presença do silício, observando-se na ausência de Si anormalidades no pólen, tal como má formação, além de maior incidência de míldio no pepino. No arroz Ma et al. (1989) observaram aumento da produção de matéria seca e de espiguetas preenchidas quando cultivado

em solução nutritiva na presença de Si, indicando que o Si é mais importante no estágio reprodutivo da cultura.

Em algumas variedades de tomateiro tem-se verificado efeito positivo da aplicação de silício em relação a aspectos fisiológicos, produtividade e qualidade (LANA et al., 2003; ROMERO-ARANDA et al., 2006; MARODIN, 2011; MARODIN et al., 2011). Lana et al. (2003) avaliaram o efeito de doses de Si via solo na forma de silicato de cálcio em tomateiro, cultivar Débora Plus, em Latossolo vermelho. Os autores não observaram efeito na produção de frutos comerciais, mas obtiveram menor proporção de frutos não comerciais com o aumento das doses de Si, indicando efeito positivo do Si sobre a qualidade dos frutos. Marodin et al. (2011) obtiveram incrementos em °Brix, teor de vitamina C e licopeno em frutos de tomate, cultivar Kada Gigante, com o aumento das doses de Si via solo, em condições de casa de vegetação.

Romero-Aranda et al. (2006) observaram em condições controladas que a adição de silício no meio de cultivo do tomateiro, cv. Moneymaker, diminuiu o efeito deletério do estresse provocado por excesso de sais. Neste trabalho, o silício aumentou o conteúdo de água nas plantas, diluindo os sais acumulados nos tecidos e diminuindo seu efeito tóxico, aumentando-se assim o crescimento das plantas. Em outros trabalhos, tem sido observado esses e outros efeitos sobre a qualidade dos frutos e fisiologia do tomateiro pela adubação com silício (STAMATAKIS et al., 2003). Em tomateiros cultivados em solução nutritiva sob estresse salino Al-Aghabary et al. (2004) observaram aumento nos teores de clorofila na presença de Si, além de acréscimos na atividade das enzimas superóxido dismutase e catalase.

Em cevada Liang et al. (2002) observaram que o Si aumentou a atividade da enzima superóxido dismutase nas folhas, e diminuiu a peroxidação lipídica pelo estresse salino e estimulou ATPase nas membranas, sugerindo que o Si pode afetar a estrutura, a integridade e funções da membrana plasmática ao influenciar na peroxidação dependente do estresse dos lipídios da membrana, que afetam indiretamente.

Ainda não se tem constatado efeitos tóxicos provocados pelo silício, razão pela qual ainda não há limites para sua aplicação. Contudo, esse limite pode acontecer, ao considerar o efeito corretivo dos silicatos e de poder elevar o pH e a saturação por bases, podendo ocasionar desequilíbrios nutricionais, principalmente de micronutrientes (Cu, Fe, Zn e Mn) e fósforo devido a processos de insolubilização (KORNDÖRFER et al., 2002).

Ao avaliar o efeito do Si em plantas de tomate e espinafre, Gunes et al. (2007) verificaram que o Si conferiu resistência tanto para o estresse salino quanto para a toxidez de

B. Esse efeito foi relacionado com o aumento da atividade de enzimas antioxidantes, o que preveniu danos na membrana por estresses oxidativos.

2.4. Interação nitrogênio e silício

Há poucos relatos na literatura sobre a interação N x Si em plantas cultivadas (ÁVILA et al., 2010). Wallace (1989) observou que o incremento da adubação nitrogenada provocou redução nos teores de Si em plantas de arroz e aveia. Barbosa Filho et al. (2000), em trabalhos com arroz, concluíram que elevadas doses de N diminuem a acumulação de sílica nas folhas mais novas, predispondo a planta à maior incidência de brusone no “pescoço” da panícula. Santos et al. (2003), em experimento de campo com várias cultivares de arroz, observaram que não houve interação entre N e Si sobre as variáveis avaliadas na cultura. Por outro lado, outros autores como Savant et al. (1997) observaram tendência de aumento na produtividade do arroz devido à aplicação de N na presença de adubação silicatada. Ma (2004) cita que o Si depositado no caule e nas folhas previne o acamamento e o autossombreamento, principalmente quando em excesso de N.

Ao avaliar a interação silício e nitrogênio na cultura do arroz em solução nutritiva, Ávila et al. (2011) não observaram influência do Si nem da interação Si x N na produção de matéria seca, porém observaram aumento no número de panículas, quando o Si foi adicionado à solução nutritiva. Na nutrição nitrogenada observaram interação Si x N no teor de N nítrico nas raízes, o qual se elevou na presença de Si na solução; porém, os teores de N-total na parte aérea e nas raízes, os teores de nitrato na parte aérea e os teores de amônio nas raízes foram influenciados somente pelas doses de N utilizadas. Na fotossíntese, os mesmos autores observaram interação N x Si nos teores de clorofila a e b, e na leitura SPAD, que aumentaram na presença do silício.

Mauad et al. (2003) ao avaliarem o efeito de doses de N e Si no arroz cultivado em condições de campo observaram aumento dos teores de N na planta em função das doses de N sem haver influência das doses de Si. Nesse mesmo trabalho, os autores observaram efeito significativo da interação N x Si nos teor e acúmulo de Si na planta, com os maiores teores de Si na maior dose de Si.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local dos experimentos e caracterização do solo

Foram conduzidos dois experimentos em ambiente protegido no Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar da Universidade Federal de Campina Grande (CCTA), Campus de Pombal-PB, com plantas de berinjela cultivar Embú, no período entre novembro de 2012 e julho de 2013.

Em ambos os experimentos foram empregadas amostras de um Neossolo Flúvico coletadas na camada de 0-40 cm em áreas pertencentes ao Campus do CCTA. Após seco ao ar, destorroado e passado em peneira de malha de 2,0 mm, o solo foi encaminhado ao Laboratório de Análises de Solo e Nutrição de Plantas do CCTA/UFCG para sua caracterização química e física conforme procedimentos descritos em Embrapa (1997). Foram determinados o pH em CaCl_2 , os teores de Ca^{+2} , Mg^{+2} , $\text{H} + \text{Al}$, Na^+ , K^+ trocáveis e P disponível. A caracterização física constou da análise granulométrica, dos valores de densidade do solo e das partículas, e da umidade do solo (Tabela 1).

Tabela 1. Atributos químicos e físicos do solo empregado nos experimentos

Atributos químicos	Valor	Atributos físicos	Valor
pH (CaCl_2)	6,7	Areia (g kg^{-1})	716
P (mg kg^{-1})	53,0	Silte (g kg^{-1})	159
K^+ ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	0,22	Argila (g kg^{-1})	125
Na^+ ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	0,11	Ds (g cm^{-3})	1,43
Ca^{2+} ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	4,7	Dp (g cm^{-3})	2,61
Mg^{2+} ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	2,3	Porosidade ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)	0,45
$\text{H} + \text{Al}$ ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	2,3	Classe textural	Franco arenosa
SB ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	7,2	Umidade	
CTC ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	9,6	0,01 Mpa	115
M.O. (g kg^{-1})	11,0	0,033 MPa	91
V (%)	74,9	1,5 Mpa	52
PST (%)	1,1	Água disponível (g kg^{-1})	63,0
Al^{+3}	0,0		

P, K^+ e Na^+ : Extrator Mehlich1; $\text{H}^+ + \text{Al}^{+3}$: Extrator acetato de Ca^{+2} 0,5 mol L^{-1} a pH 7; Al^{+3} , Ca^{+2} , Mg^{+2} : Extrator KCl 1,0 mol L^{-1} .

3.2. Primeiro experimento

Os tratamentos foram arrançados em esquema fatorial 5 x 4, compreendendo cinco doses de N (25; 125; 250; 350 e 500 mg dm⁻³) e quatro doses de Si (0; 75; 150 e 200 mg dm⁻³). Para as doses de N, não foi utilizada a dose zero, tendo em vista a possibilidade das plantas não se desenvolverem e não produzirem material vegetal suficiente para análise. Foi empregado o delineamento experimental inteiramente casualizado com quatro repetições, totalizando 80 unidades experimentais. Cada unidade experimental constou de um vaso contendo 6 L de solo, com duas plantas por vaso.

As mudas de berinjela foram produzidas em bandejas de poliestireno expandido (Isopor®) de 128 células, utilizando-se como substrato a mistura comercial Tropstrato® com uma semente por célula. Trinta dias após a semeadura foi realizado o transplântio de duas mudas por vaso. As irrigações foram realizadas manualmente conforme a necessidade das plantas e os tratamentos fitossanitários constaram da aplicação de Rootneen® (25 L na concentração de 3 mL L⁻¹ em quatro aplicações) e Actara 250 GR® (10 L na concentração de 0,48 g L⁻¹ em uma única aplicação).

As doses de nitrogênio foram aplicadas na forma de ureia (45% de N) e as doses de Si na forma de silicato de potássio, utilizando produto comercial Quimifol Silício® (10% de Si e 8,3% de K, densidade = 1,31 kg L⁻¹). Para evitar possíveis perdas por volatilização (N) e, ou lixiviação (N e K), foi realizado o parcelamento da adubação nitrogenada e potássica, considerando as épocas de maior exigência da cultura. As doses de N foram aplicadas a partir dos 15 dias após transplântio (DAT) (primeira parcela), sendo que a dose de 25 mg dm⁻³ foi aplicada de uma vez, enquanto as doses de 125 e 250 mg dm⁻³ em duas parcelas (15 e 30 DAT), e as doses de 350 e 500 mg dm⁻³ foram aplicadas em três parcelas (15, 30 e 40 DAT). As doses de K foram parceladas em três aplicações, sendo aplicadas um dia após a aplicação das parcelas de N.

A adubação com macro (exceto N) e micronutrientes foram realizadas conforme modificação da recomendação de Malavolta (1980) aplicando-se as seguintes doses em mg dm⁻³: P = 100; K = 160; Ca = 230; Mg = 20; S = 155; B = 0,5; Cu = 1,5; Fe = 10; Mn = 4; Mo = 0,15 e Zn = 5,0, e as seguintes fontes: superfosfato simples, KCl, MgSO₄.7H₂O, H₃BO₃, CuSO₄.5H₂O, Fe-EDTA, MnSO₄.4H₂O, molibdato de amônio e ZnSO₄.7H₂O, respectivamente. Na adubação potássica, foram descontadas as quantidades de K fornecidas pelo silicato de potássio, para equilibrar as doses desse nutriente entre os tratamentos.

No início do florescimento (45 DAT) da cultura foram realizadas avaliações em folhas recém-maduras, por meio de método não destrutivo, a taxa de transpiração, taxa fotossintética, condutância estomática e concentração intercelular de CO₂, utilizando o analisador de gás infravermelho – IRGA (*Infra-red Gas Analyzer*) com fonte de luz constante de 1.200 μmol de fótons $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$, iniciando-se as análises às 7:30 da manhã e utilizando duas folhas por planta. Nesse estágio também foi avaliado por meio de método não destrutivo o índice de área foliar, utilizando-se um Ceptômetro (AccuPAR modelo LP-80), iniciando-se também às 7:30 da manhã e realizando-se as análises em três réplicas por planta.

Posteriormente as plantas foram separadas em raízes, caules e folhas e levadas à estufa de secagem (60-65 °C) para obtenção da matéria seca das raízes (MSR), do caule (MSC) e das folhas (MSF). Nesses tecidos foram determinados os teores de nitrogênio total (N-total) de acordo com Malavolta et al. (1997), e de nitrogênio nítrico (N-NO₃⁻) e amoniacal (N-NH₄⁺) conforme descrito em Tedesco et al. (1985). Foram obtidos os teores de nitrogênio orgânico pela diferença entre os teores de N-total e N-mineral (N-NO₃⁻ + N-NH₄⁺). Nas folhas, foram determinados ainda os teores de silício conforme Furlani; Gallo (1978) utilizando o método colorimétrico do azul-de-molibdênio.

Multiplicando-se os dados de matéria seca da parte aérea pelos teores das frações de nitrogênio, foram calculados os totais acumulados dessas formas de nitrogênio nesses tecidos e a eficiência de utilização de nitrogênio (EUN) conforme fórmula proposta por Siddiq; Glass (1981): $\text{EUN (g}^2 \text{ mg}^{-1}) = (\text{matéria seca})^2 / (\text{acúmulo de N})$, onde: matéria seca é a soma do peso das três partes da planta (folhas, caule e raízes) em gramas, e o acúmulo de N corresponde à soma dos teores de N das três partes em miligramas.

As variáveis dependentes foram avaliadas pela análise de variância, e os efeitos dos fatores nitrogênio e silício, analisados por meio de regressão polinomial, e superfície de resposta quando se observou significância para os dois fatores ou para a interação, observando-se os níveis de significância do modelo para aceitar o efeito isolado dentro do modelo até 10% de probabilidade. A escolha do modelo foi com base na significância dos efeitos, na explicação adequada para fenômeno analisado e no maior coeficiente de determinação. Nas análises de variância foi empregado o *software* SISVAR (Ferreira, 2000), e os testes foram realizados ao nível de 5% de significância. Para as análises de regressão foi utilizado o *software* SAS (*Statistical Analysis Systems*, 2011) e os gráficos gerados a partir do *TableCurve* 3D v.4.0 (Systat Software Inc., 2002).

3.3. Segundo experimento

Os tratamentos foram arranjados em fatorial 5 x 2, compreendendo cinco doses de N (25; 125; 250; 350; 500 mg dm⁻³) e na ausência e presença de uma solução de silicato de potássio aplicada via foliar (sem aplicação e com aplicação de uma solução de silicato de potássio). Foi empregado o delineamento experimental inteiramente casualizado com seis repetições, totalizando 60 unidades experimentais. Cada unidade experimental constou de um vaso contendo 12 dm³ de solo e uma planta por vaso.

Todos os procedimentos envolvendo produção das mudas, transplântio, adubação básica de macro e micronutrientes, fontes de nutrientes e de silício, bem como irrigações e tratos culturais foram realizados de forma idêntica ao descrito no experimento I. A adubação nitrogenada e potássica foram parceladas: a dose de N de 25 mg dm⁻³ foi em uma única vez (10 DAT); as doses de 125 e 250 mg dm⁻³ foram parceladas em três vezes (10, 25 e 35 DAT), e as doses de 350 e 500 mg dm⁻³ foram parceladas em quatro vezes (10, 25, 35 e 45 DAT). A adubação potássica foi parcelada em três vezes, sendo aplicadas aos 20, 30 e 40 DAT.

O fornecimento do silício via foliar foi realizado mediante cinco pulverizações do produto Quimifol Silício® (10 % de Si + 8,3 % de K, densidade = 1,31 kg L⁻¹) na concentração de 10 mmol L⁻¹, aplicados a cada 10 dias, iniciando-se aos 28 DAT das mudas. Para equilibrar o potássio fornecido juntamente com o silicato de potássio no tratamento sem aplicação de silício, foi aplicada uma solução com os mesmos teores de potássio utilizando cloreto de potássio nas mesmas datas da aplicação das soluções com Si.

No início do florescimento (40 DAT) foram avaliadas as variáveis relacionadas às trocas gasosas e o índice de área foliar, além do diâmetro de caule e altura da planta. Posteriormente, em três das seis repetições, foi realizada a coleta das plantas destinadas à quantificação dos valores de matéria seca, ao fracionamento de N e aos teores foliares de Si conforme métodos descritos no experimento anterior. Após a obtenção dos teores das frações de N, foram obtidos os respectivos acúmulos e a eficiência de utilização de N como já relatado para o experimento I.

As plantas das três repetições restantes foram cultivadas até a colheita, a qual foi realizada aos 80 DAT em cinco etapas. A primeira colheita foi feita quando 80% dos frutos estavam completamente maduros e as colheitas seguintes, a cada 12 dias. Foram avaliados o peso fresco e o número de frutos por planta. Em três frutos por tratamento (um fruto por repetição) de tamanho e aparência uniformes foram avaliados: o diâmetro longitudinal e

transversal com o auxílio de paquímetro digital; a firmeza da polpa utilizando penetrômetro com ponteira cilíndrica de 8 mm de diâmetro, tomando-se três medições por fruto em posições equatoriais; o teor de sólidos solúveis no suco filtrado usando-se refratômetro digital, sendo os resultados expressos em °Brix; a acidez titulável através de titulação de uma alíquota do suco filtrado com solução de NaOH ($0,1 \text{ mol L}^{-1}$) e os resultados expressos em % de ácido cítrico (AOAC, 1995); o teor de ácido ascórbico (vitamina C) por titulação da amostra com solução de Tillman (AOAC, 1990).

As variáveis dependentes foram avaliadas pela análise de variância, sendo os efeitos das doses de nitrogênio analisados por meio de regressão polinomial, e das doses de silício por teste de médias (Tukey) ao nível de 5% de probabilidade, realizando-se os desdobramentos pertinentes quando observado interação. Nas análises de variância foi empregado o *software* SISVAR (Ferreira, 2000).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Primeiro experimento

4.1.1. Produção de matéria seca e trocas gasosas

Conforme análise de variância (Tabela 1A) todas as variáveis relacionadas com o crescimento foram influenciadas pelas doses de nitrogênio testadas, porém sem que houvesse influência das doses de silício e da interação nitrogênio x silício. Embora em outros trabalhos tenha sido observado efeito da adubação silicatada sobre o crescimento de outras espécies (MA; TAKAHASHI, 2002; MA; YAMAJI, 2006; ÁVILA et al., 2012), o mesmo não ocorreu neste trabalho, possivelmente, por ser a berinjela uma espécie não acumuladora deste elemento (FAQUIN, 2005).

Os valores da matéria seca de folhas (MSF), caule (MSC) raízes (MSR) e o índice de área foliar (IAF) (Figuras 1A, 1B, 1C e 1D) aumentaram conforme acréscimos das doses de N, estimando-se valores máximos com as doses de 397, 267, 373, e 262,5 mg dm⁻³ de N respectivamente.

O IAF mede a relação da área coberta pelas folhas em relação a área do solo ocupada pela planta e se relaciona com a expansão foliar e consequentemente com o crescimento vegetativo das folhas, sendo a taxa fotossintética em geral positivamente relacionada com essa variável (EPSTEIN; BLOOM, 2006). Assim os menores valores IAF bem como MSF, MSC e MSR nas menores doses de N, deve-se à exigência de N pela planta, fato relacionado com o papel desse nutriente na produção de tecido vegetal (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Em vários trabalhos, observou-se resposta positiva do fornecimento de N à berinjela, tanto no crescimento quanto na produção (OLONIRUHA, 2009; AMINIFARD et al., 2010). Por outro lado, o decréscimo nas maiores doses é provavelmente devido à toxidez causada pelo excesso do nutriente, o que ocorre principalmente quando tal nutriente é fornecido na forma de ureia (EPSTEIN; BLOOM, 2006; FILGUEIRA, 2008; FERNANDES et al., 2010; ARAUJO et al., 2012).

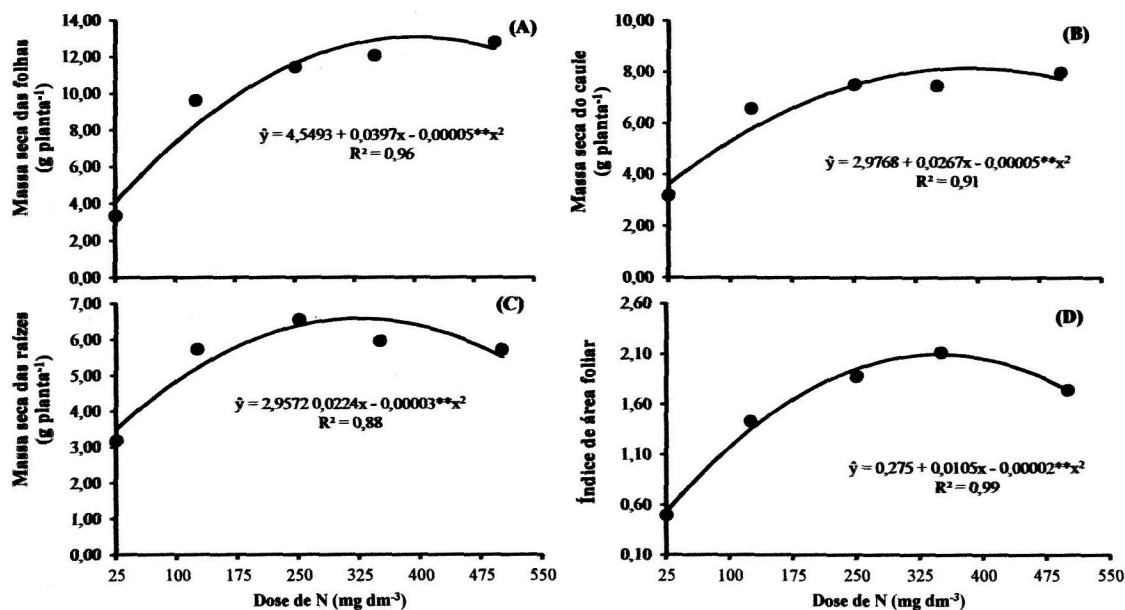


Figura 1. Massa seca de folhas (A), de caule (B) e das raízes (C) e índice de área foliar (D) de plantas de berinjela em função das doses de N.

** e *: Significativo ao nível de 1% e 5%, respectivamente, pelo teste de t.

Conforme análise de variância (Tabela 2A) as variáveis relacionadas às trocas gasosas foram influenciadas apenas pelas doses de N. Foram observados aumentos lineares para a taxa de transpiração e a condutância estomática (Figura 1A e 1D) e quadráticos para a concentração intercelular de CO₂ e a taxa fotossintética (Figura 1C e 1B) em função das doses de N no solo.

Com a exceção da concentração intercelular de CO₂, as variáveis fisiológicas apresentaram tendência de aumento com o acréscimo das doses de N. Este comportamento deve-se, provavelmente, à atuação do N na composição das moléculas de clorofilas, nas quais são encontrados os sítios ativos responsáveis pela fotossíntese (EPSTEIN; BLOOM, 2006). Assim, é natural que plantas bem nutridas em N apresentem maior taxa fotossintética em comparação às plantas mal nutridas nesse nutriente.

O aumento da taxa de transpiração é decorrente de uma maior abertura estomática, a qual eleva as trocas gasosas e a condutância estomática da planta (EPSTEIN; BLOOM, 2006). Por outro lado, a diminuição da concentração intercelular de CO₂ com o aumento das doses de N é, possivelmente, uma resposta do aumento da taxa fotossintética e condutância estomática, diminuindo o CO₂ interno. Nas menores doses de N é possível que tenha havido diminuição do potencial de turgescência dos tecidos foliares (TAIZ; ZEIGER, 2004), provocando o fechamento dos estômatos, aumento da resistência à difusão do CO₂ e diminuição da taxa fotossintética (ROMERO-ARANDA et al., 1998; CHAVES et al., 2009).

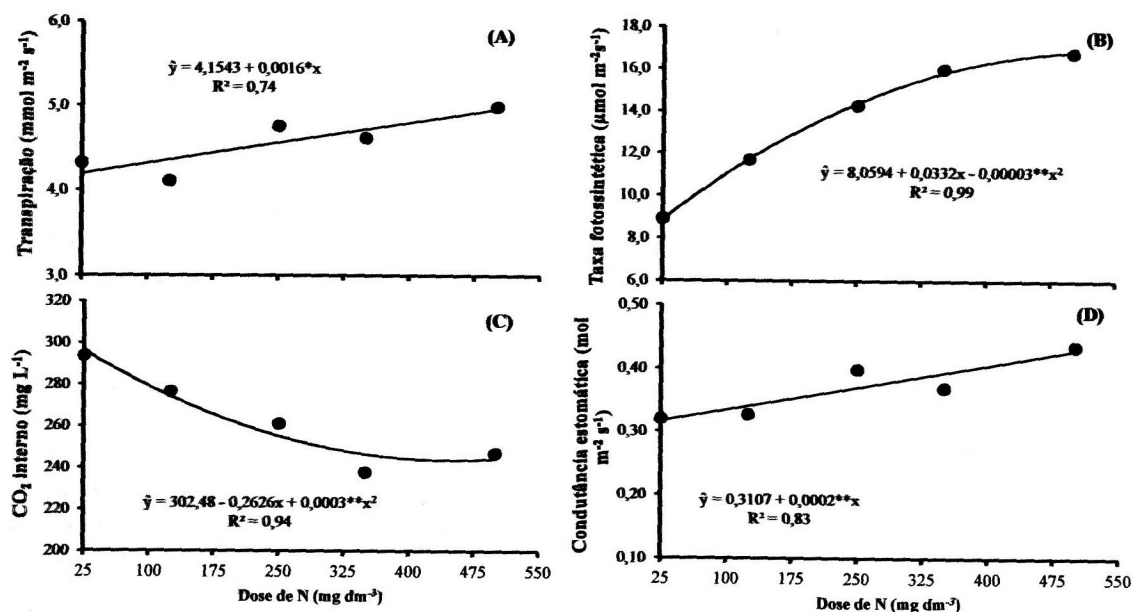


Figura 2. Transpiração (A), taxa fotossintética (B), concentração intercelular de CO₂ (C) e condutância estomática (D) de plantas de berinjela em função das doses de N.

** e *: Significativo ao nível de 1% e 5%, respectivamente, pelo teste de t.

4.1.2. Nutrição nitrogenada

A análise de variância revelou efeito das doses de N em todas as variáveis relacionadas aos teores e acúmulos foliares das frações de N, com influência das doses de Si sobre os teores de N orgânico e total e da interação N x Si nos teores e acúmulos de N amoniacal e nítrico (Tabela 3A e 4A).

Os teores de N amoniacal, total e orgânico aumentaram linearmente em função das doses de N. O teor de N amoniacal diminuiu de forma linear em função das doses de Si, enquanto que os teores de N total e orgânico diminuíram de forma quadrática em função das doses de Si (Figura 3A, 3B e 3C). Os maiores valores estimados foram 2,18, 49,53 e 47,1 para os teores de N amoniacal, total e orgânico, respectivamente.

A pequena diferença entre as frações de N orgânico e total é devido à pequena proporção de N mineral acumulada nos tecidos, que geralmente não ultrapassa 5% em relação ao N-total (ARAÚJO et al., 2012). A linearidade da resposta contrasta com o comportamento quadrático observado para a produção de matéria seca e para o índice de área foliar, cujos valores decresceram nas doses mais elevadas de N (Figura 1). Esse comportamento indica que as plantas não responderam em crescimento na mesma proporção que a quantidade de N

acumulada pela planta, ou seja, a partir do ponto de máximo houve “consumo de luxo” de N, e, ou efeito de concentração desse nutriente com o incremento das doses de N (MALAVOLTA et al., 1997).

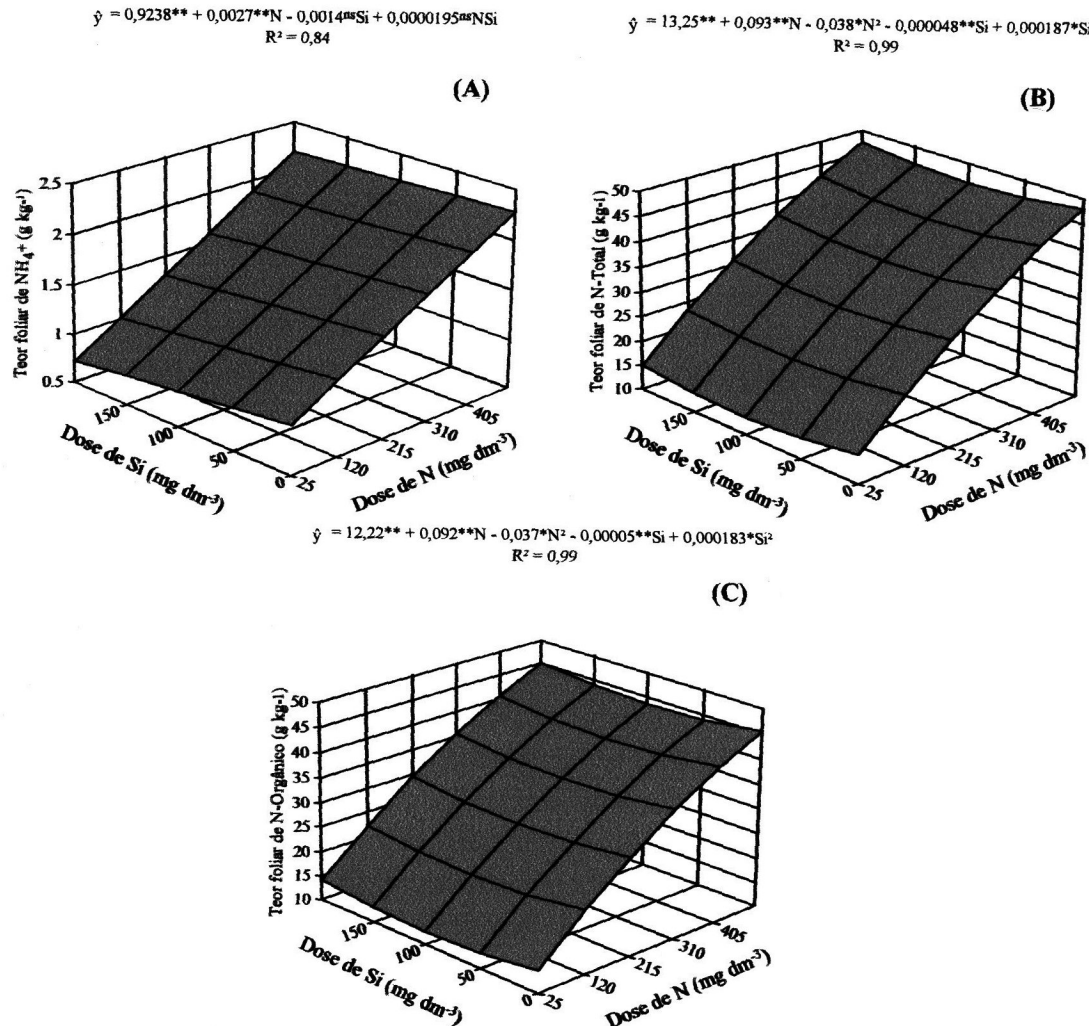


Figura 3. Teores de nitrogênio amoniacal (A), total (B) e orgânico (C) em folhas de plantas de berinjela em função das doses de N e Si via radicular.

**, * e °: Significativo ao nível de 1%, 5% e 10%, respectivamente, pelo teste de t.

O teor foliar de N nítrico aumentou de forma quadrática e linear em função das doses de N e Si, respectivamente. Os acúmulos de N amoniacal, total e orgânico aumentaram de forma linear em função das doses de N, enquanto que o acúmulo de N nítrico aumentou de forma quadrática (Figura 4A, 4B, 4C, 4D e 4E). O maior valor estimado para o teor de N nítrico foi 0,1 g kg⁻¹.

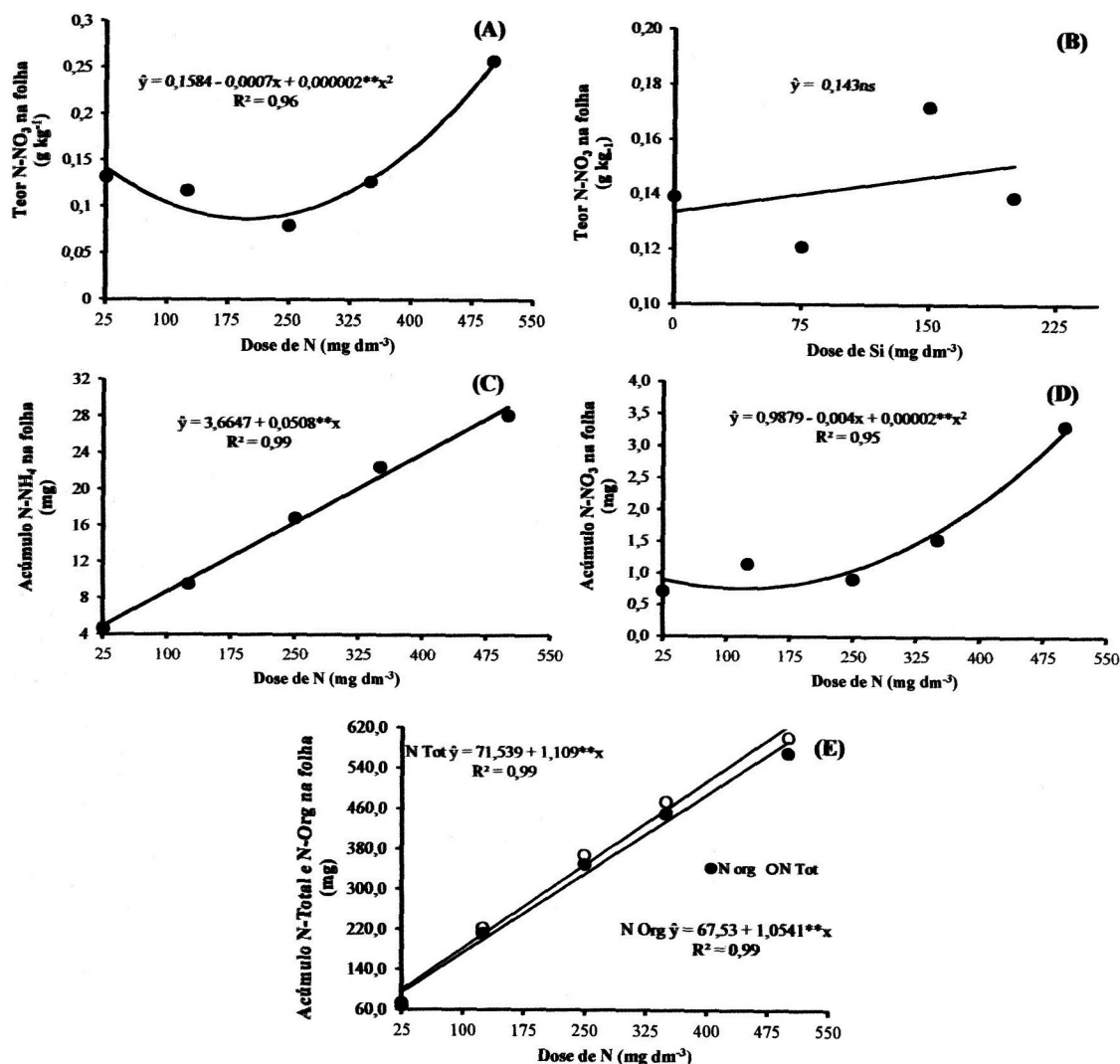


Figura 4. Teor de nitrogênio nítrico em função das doses de N (A) e Si (B), acúmulo de nitrogênio amoniacal (C), nítrico (D), orgânico e total (E) em função das doses de N em folhas de plantas de berinjela.

** e *: Significativo ao nível de 1% e 5%, respectivamente, pelo teste de t.

A análise de variância revelou efeito das doses de N em todas variáveis relacionadas aos teores e acúmulos no caule das frações de N, porém, sem influência das doses de Si e da interação N x Si (Tabela 3A e 4A).

Os teores de nitrogênio amoniacal, nítrico e total (Figura 5A e 5B) ajustaram ao modelo quadrático crescente com o aumento das doses de N. Os teores de nitrogênio orgânico (Figura 5B) apresentou tendência linear conforme aumento das doses de N. Os acúmulos das frações de N mineral (amoniacal e nítrico) ajustaram ao modelo quadrático crescente com o aumento das doses de N (Figura 5C e 5D), enquanto que os acúmulos de N orgânico e total aumentaram linearmente com a elevação das doses de N (Figura 5E). Observou-se que

conforme aumento das doses de N há um aumento quadrático do acúmulo das frações de N mineral, o que reflete no menor coeficiente angular da equação estimada para o N orgânico comparando-se ao N total (Figura 5C, 5D e 5E).

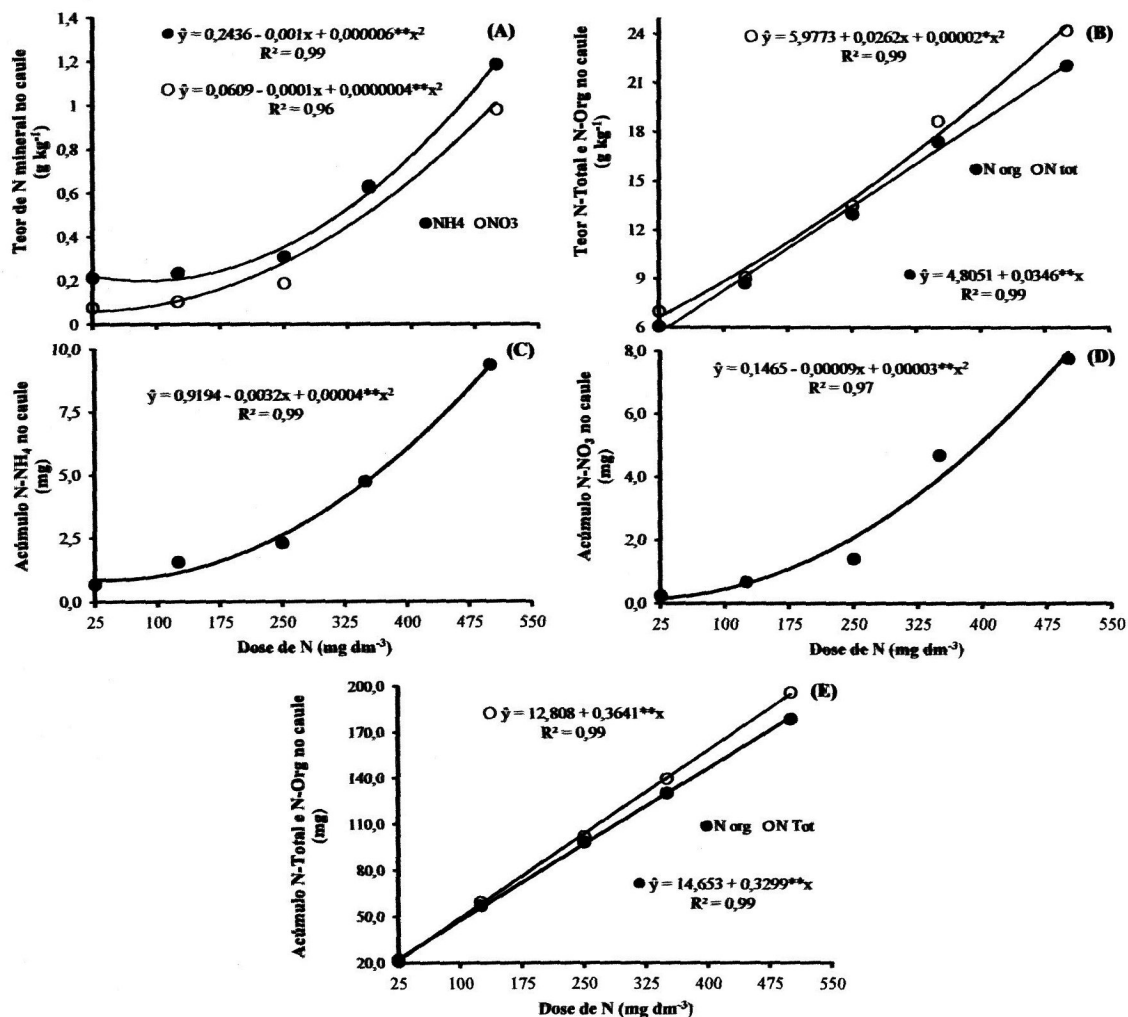


Figura 5. Teores de N amoniacal e nítrico (A), orgânico e total (B), acúmulos de nitrogênio amoniacal (C), nítrico (D), orgânico e total (E) em caule de plantas de berinjela em função das doses de N.

** e *: Significativo ao nível de 1% e 5%, respectivamente, pelo teste de t.

A análise de variância revelou efeito das doses de N em todas variáveis relacionadas aos teores e acúmulos nas raízes das frações de N, com efeito do Si sobre o teor e acúmulo de N nítrico e interação sobre os teores de N nítrico e o acúmulos de N amoniacal e nítrico (Tabela 3A e 4A).

O teor e acúmulo de N amoniacal aumentaram linearmente (Figura 6A e 6C) com a elevação das doses de N, enquanto que os teores e acúmulos de N orgânico e total exibiram

aumento quadrático (Figura 6B e 6D) em função das doses de N. Os maiores valores estimados para os teores de N total e orgânico foram 22,7 e 21,1 mg kg⁻¹, respectivamente, enquanto que os maiores valores estimados para os acúmulos de N orgânico e total foram de 139 e 136 mg de N.

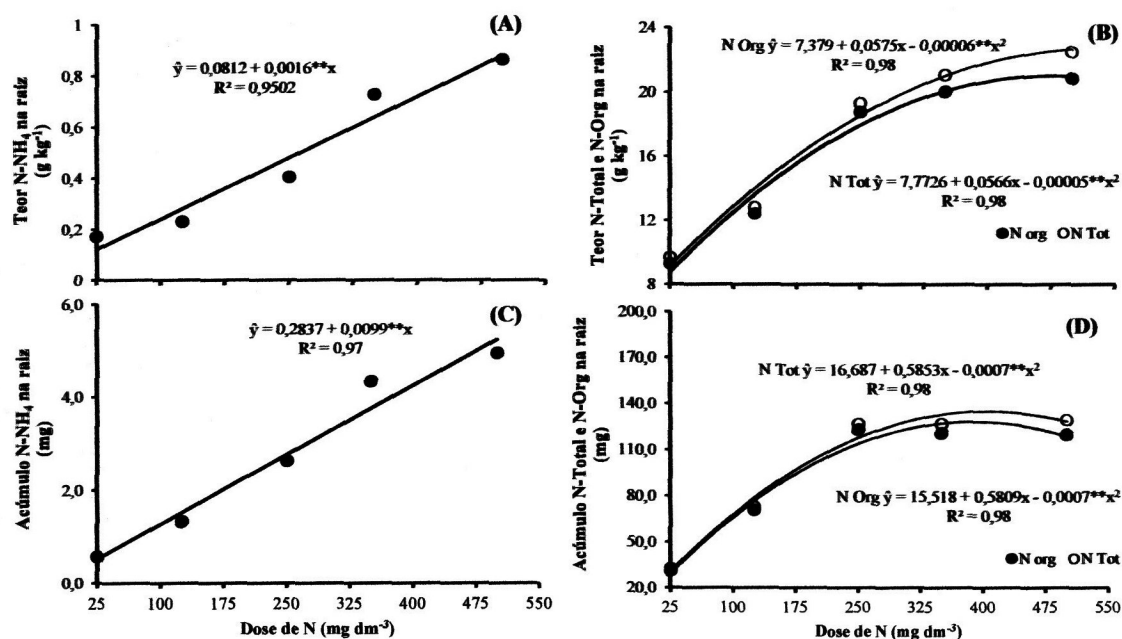


Figura 6. Teor de nitrogênio amoniacal (A), orgânico e total (B), e acúmulo de nitrogênio amoniacal (C), orgânico e total (D) em raízes de plantas de berinjela em função das doses de N.

** e *: Significativo ao nível de 1% e 5%, respectivamente, pelo teste de t.

O teor de nitrato na raiz aumentou de forma quadrática em função das doses de N e linear em função das doses de Si, com maior valor de 0,75 mg kg⁻¹ (Figura 7A). O acúmulo de nitrogênio nítrico apresentou crescimento de tendência quadrática com as doses de N, e decréscimo de forma quadrática em função das doses de Si, com valor máximo estimado de 5,96 mg (Figura 7B).

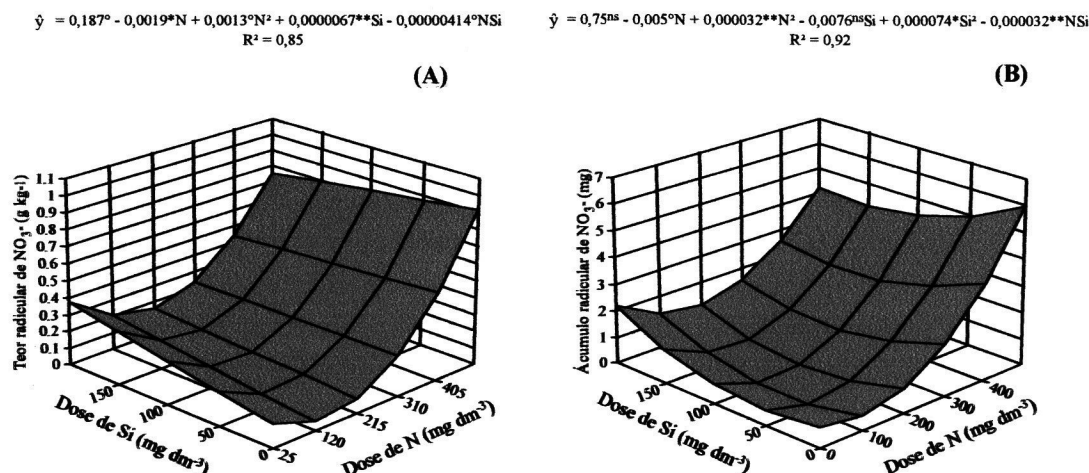


Figura 7. Teor (A) e acúmulo (B) de nitrogênio nítrico em raízes de plantas de berinjela em função das doses de N.

**, * e °: Significativo ao nível de 1%, 5% e 10%, respectivamente, pelo teste de t.

Em termos de magnitude, nota-se que os teores de N-orgânico e N-total nas folhas (Figura 3C e 3D) foram superiores ao caule e às raízes, fato devido à participação do N em diversas moléculas importantes na folha, como clorofilas e pigmentos (TAIZ; ZEIGER, 2004). Os teores de amônio, nas três partes da planta (pelos valores dos interceptos das curvas) foram sempre superiores aos teores de nitrato. Em geral, as plantas tendem acumular mais nitrato do que amônio nos tecidos celulares, dependendo da forma de nitrogênio fornecida (ARAÚJO et al., 2012). Ao contrário do observado nas demais partes da planta, as doses de Si influenciaram positivamente no teor de nitrato nas raízes, o que coincide com os resultados observados por Ávila et al. (2010) em arroz quando o silício foi adicionado à solução nutritiva.

Neste trabalho os maiores teores de amônio em relação ao nitrato, pode ter sido uma consequência da fonte N empregada no experimento (ureia), embora, o solo utilizado no experimento não apresentasse aparentemente, restrições ao processo de nitrificação.

A análise de variância revelou efeito das doses de N na eficiência de utilização de N (EUN), sem efeito das doses de Si e da interação. A eficiência de utilização de nitrogênio (EUN) que relaciona a matéria seca com o acúmulo total de N pela planta, ajustou-se ao modelo quadrático, com valor máximo estimado para a dose de 100 mg dm⁻³ de N (Figura 8). Esse valor é, em média, três vezes menor do que as doses de N estimadas para a obtenção da produção máxima de matéria seca (Figura 1), o que reflete uma menor resposta da cultura na produção de matéria seca conforme acréscimo das doses de N, porém aumentando o acúmulo de N.

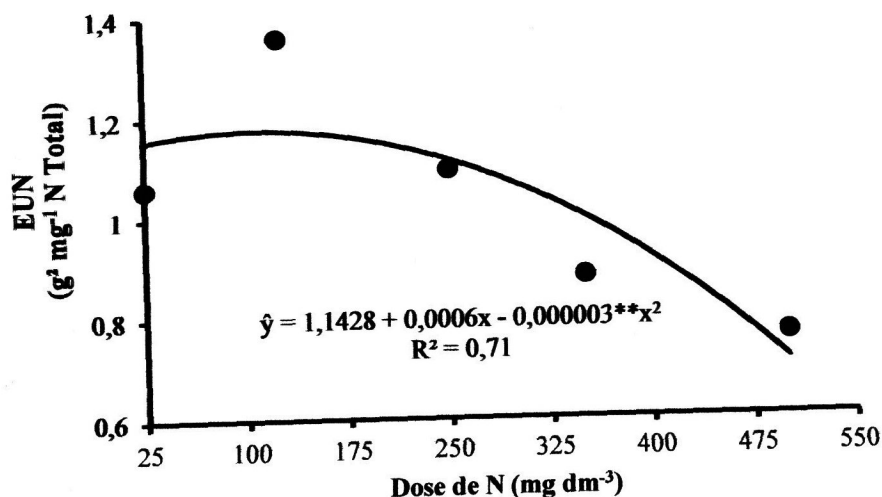


Figura 8. Eficiência de utilização de nitrogênio (EUN) de plantas de berinjela em função das doses de N.

** e *: Significativo ao nível de 1% e 5%, respectivamente, pelo teste de t.

4.1.3. Teor foliar de silício

A análise de variância revelou efeito das doses de N e de Si, assim como da interação sobre o teor foliar de Si (Tabela 5A). O teor foliar de Si diminuiu de forma linear com as doses de N, e aumentou de forma quadrática com as doses de Si (Figura 9), o que reflete um possível efeito de “diluição” causado pelo aumento da produção de matéria seca das folhas em função das crescentes doses de N e da baixa absorção e translocação de Si pela planta (EPSTEIN; BLOOM, 2006; MA et al., 2006). O teor máximo de Si foi de 7,0 g kg⁻¹ de Si demonstrando que a berinjela é uma cultura não acumuladora de Si (FAQUIN, 2005).

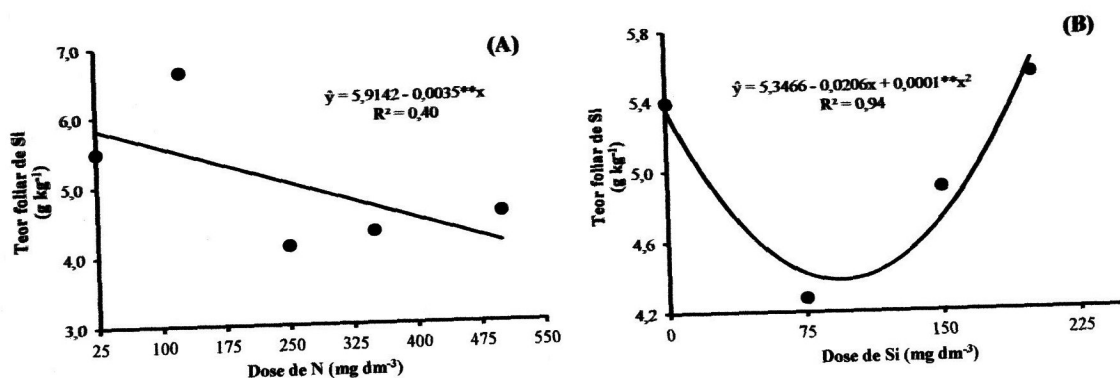


Figura 9. Teor de silício em folhas de plantas de berinjela em função das doses de N (A) e Si (B) via radicular.

** e *: Significativo ao nível de 1% e 5%, respectivamente, pelo teste de t.

4.1.4. Correlações

Na tabela 2, observa-se os coeficientes de correlações entre as variáveis relacionadas ao crescimento, às trocas gasosas e ao teor de Si nas folhas. Observou-se correlação significativa entre todas as variáveis relacionadas ao crescimento e às trocas gasosas, com exceção da variável transpiração confrontada com o IAF. Não foi observado correlação entre o teor de Si nas folhas com as variáveis de crescimento, enquanto apenas o conteúdo intercelular de CO₂ (Ci) e a taxa transpiratória (E) obtiveram coeficientes significativos quando confrontados com o teor de Si nas folhas.

A produção de matéria seca das folhas (MSF) obteve correlação positiva com os parâmetros transpiração (E), condutância estomática (Gs) e taxa fotossintética (A). Esses resultados refletem a influência das folhas nos processos fotossintéticos, elevando a taxa fotossintética e transpiratória. O parâmetro conteúdo intercelular de CO₂ (Ci) não obteve significância quando confrontado com a matéria seca das folhas. Quando correlacionou-se os parâmetros das trocas gasosas com os parâmetros relacionados à produção de matéria seca do caule e das raízes, observou-se comportamento semelhante à produção de matéria seca das folhas.

O IAF influenciou positivamente na taxa fotossintética e na condutância estomática e negativamente no conteúdo intercelular de CO₂. O índice de área foliar relaciona a área coberta pela planta em função da área física, dessa forma o aumento do IAF proporcionou aumento da taxa fotossintética devido maior interceptação da luz solar, o que proporcionou aumentos na Gs (TAIZ; ZEIGER, 2004). O teor de Si nas folhas obteve correlação positiva quando confrontado com Ci e negativa quando confrontado com A.

Tabela 2. Coeficiente de correlação linear de Pearson entre as variáveis, matéria seca de folhas (MSF), matéria seca de caule (MSC), matéria seca de raízes (MSR), índice de área foliar (IAF), concentração interna de CO₂ (Ci), taxa de transpiração (E), condutância estomática (Gs), taxa fotossintética (A) e teores foliares de Si.

	Ci	E	Gs	A	Teor Si
MSF	- 0,61**	0,27*	0,39**	0,70**	- 0,22 ^{ns}
MSC	- 0,56**	0,28*	0,32**	0,59**	- 0,16 ^{ns}
MSR	- 0,44**	0,11**	0,31**	0,52**	- 0,09 ^{ns}
IAF	- 0,47**	0,09 ^{ns}	0,33**	0,56**	- 0,20 ^{ns}
Teor Si	0,27*	- 0,01 ^{ns}	- 0,18 ^{ns}	- 0,27*	-

** , * e ^{ns}: Significativo ao nível de 1%, 5% e não significativo, respectivamente, pelo teste de t.

Na tabela 3, observa-se os coeficientes de correlações entre as variáveis relacionadas ao crescimento e aos teores das frações de N nas folhas, caule e raízes. Observou-se correlação positiva quando confrontou-se a variável MSF com os teores das frações de N nas três partes da planta. Observou-se correlação positiva ao se confrontar a MSC com os teores das frações de N, com exceção do teor de N nítrico nas folhas. A MSR não obteve correlação com os teores de N nítrico nas três partes, observando correlação positiva com as demais variáveis. O IAF não obteve correlação quando confrontado com os teores de N nítrico nas folhas e raízes, apresentando correlação positiva com as demais variáveis.

Na nutrição nitrogenada, o teor de Si nas folhas apresentou correlação negativa com os teores de N orgânico (N-Org) e total (N-Tot) nas três partes da planta. Não se observou correlação dos teores de N nítrico nas três partes da planta e o teor de N amoniacal no caule com o teor foliar de Si, enquanto que o teor de N amoniacal nas folhas e raízes apresentou correlação negativa.

Tabela 3. Coeficiente de correlação linear de Pearson entre as variáveis matéria seca de folhas (MSF), matéria seca de caule (MSC), matéria seca de raízes (MSR), índice de área foliar (IAF), teor de Si nas folhas e aos teores das frações de nitrogênio nas partições de matéria seca.

Folhas				
	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	N-Org	N-Tot
MSF	0,62**	0,22*	0,86**	0,85**
MSC	0,54**	0,13 ^{ns}	0,77**	0,76**
MSR	0,25*	- 0,08 ^{ns}	0,51**	0,50**
IAF	0,52**	- 0,04 ^{ns}	0,64**	0,64**
Teor Si	- 0,24*	0,13 ^{ns}	- 0,24*	- 0,24*
Caule				
	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	N-Org	N-Tot
MSF	0,58**	0,61**	0,78**	0,77**
MSC	0,47**	0,49**	0,69**	0,67**
MSR	0,16 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,39**	0,37**
IAF	0,37**	0,42**	0,50**	0,45**
Teor Si	- 0,21 ^{ns}	- 0,22 ^{ns}	- 0,24*	- 0,24*
Raízes				
	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	N-Org	N-Tot
MSF	0,69**	0,35**	0,79**	0,79**
MSC	0,62**	0,29**	0,74**	0,74**
MSR	0,33**	0,01 ^{ns}	0,57**	0,55**
IAF	0,57**	0,06 ^{ns}	0,63**	0,62**
Teor Si	- 0,28*	- 0,04 ^{ns}	- 0,34**	- 0,34**

** , * e ^{ns}: Significativo ao nível de 1%, 5% e não significativo, respectivamente, pelo teste de t.

Na tabela 4, observa-se os coeficientes de correlação entre as variáveis relacionadas às trocas gasosas e aos teores das frações de N nas três partes da planta. Nas folhas observou-se correlação positiva quando confrontou-se as variáveis taxa transpiratória (E) e fotossintética (A) com os teores das frações de N, enquanto não se observou correlação do conteúdo

intercelular de CO₂ (Ci) e condutância estomática (Gs) quando confrontado com teor de N nítrico, observando-se correlação positiva quando correlacionado com os demais teores.

No caule e nas raízes, foram observadas correlações positivas quando relacionou-se os teores das frações de N com as variáveis transpiração (E), condutância estomática (Gs) e taxa fotossintética (A), e correlação negativa quando relacionados ao conteúdo intercelular de CO₂ (Ci).

Tabela 4. Coeficiente de correlação linear de Pearson entre as variáveis relacionadas às trocas gasosas concentração interna de CO₂ (Ci), taxa de transpiração (E), condutância estomática (Gs), taxa fotossintética (A) e aos teores das frações de nitrogênio nas partições de matéria seca.

Tratamentos	Folhas			
	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	N-Org	N-Tot
Ci	- 0,54**	- 0,18 ^{ns}	- 0,67**	- 0,67**
E	0,30**	0,25*	0,37**	0,37**
Gs	0,39**	0,17 ^{ns}	0,44**	0,44**
A	0,61**	0,22*	0,73**	0,73**
Caule				
	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	N-Org	N-Tot
Ci	- 0,51**	- 0,58**	- 0,70**	- 0,65**
E	0,35**	0,35**	0,39**	0,39**
Gs	0,40**	0,39**	0,42**	0,42**
A	0,57**	0,61**	0,69**	0,69**
Raízes				
	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	N-Org	N-Tot
Ci	- 0,70**	- 0,30**	- 0,67**	- 0,68**
E	0,28*	0,34**	0,24*	0,26*
Gs	0,35**	0,41**	0,41**	0,42**
A	0,70**	0,43**	0,74**	0,75**

**, * e ^{ns}: Significativo ao nível de 1%, 5% e não significativo, respectivamente, pelo teste de t.

De modo geral observou-se valores altos dos coeficientes quando se correlacionou os teores de N orgânico e total com a taxa fotossintética nas três partes da planta, refletindo o papel da fotossíntese no fornecimento de poder redutor que é importante na assimilação do N em compostos orgânicos (TAIZ; ZEIGER, 2004). Com relação ao Si observou-se coeficientes negativos quando se confrontou o teor foliar de Si com os teores das frações de N orgânico e total nas três partes da planta sem afetar o crescimento significativamente.

4.2. Segundo experimento

4.2.1. Produção de matéria seca e trocas gasosas

Conforme análise de variância (Tabela 6A) todas as variáveis relacionadas ao crescimento foram influenciadas pelas doses de nitrogênio testadas, porém sem observar influência do Si e da interação N x Si. A produção de matéria seca das folhas (Figura 10A) e do caule (Figura 10B) ajustaram-se ao modelo quadrático na análise de regressão, com valores máximos estimados nas doses 229 e 206 mg dm⁻³ N para massa seca das folhas e do caule, respectivamente. A produção de matéria seca de raízes (Figura 10C) diminuiu de forma linear em função das doses de N, o que pode ter sido provocado pelas elevadas concentrações de amônio (que em excesso é tóxico) na zona radicular nas maiores doses de N (ARAUJO et al., 2012), tendo em vista que a fonte de N empregada foi a ureia.

O diâmetro do caule aumentou de forma quadrática em função das doses de N (Figura 10D), com valor máximo na dose de 442 mg dm⁻³ de N, sem observar influência do Si ou da interação N x Si. A altura da planta aumentou linearmente em função das doses de N (Figura 10E), porém sem influência do Si ou da interação N x Si.

Em outros trabalhos, tem sido observada resposta positiva do fornecimento de N em berinjela e em outras olerícolas de frutos, tanto nas características de crescimento quanto nas de produção (OLONIRUHA; 2009; AMINIFARD et al., 2010; CASTELLANOS et al. 2011; ELIA; CONVERSA, 2012).

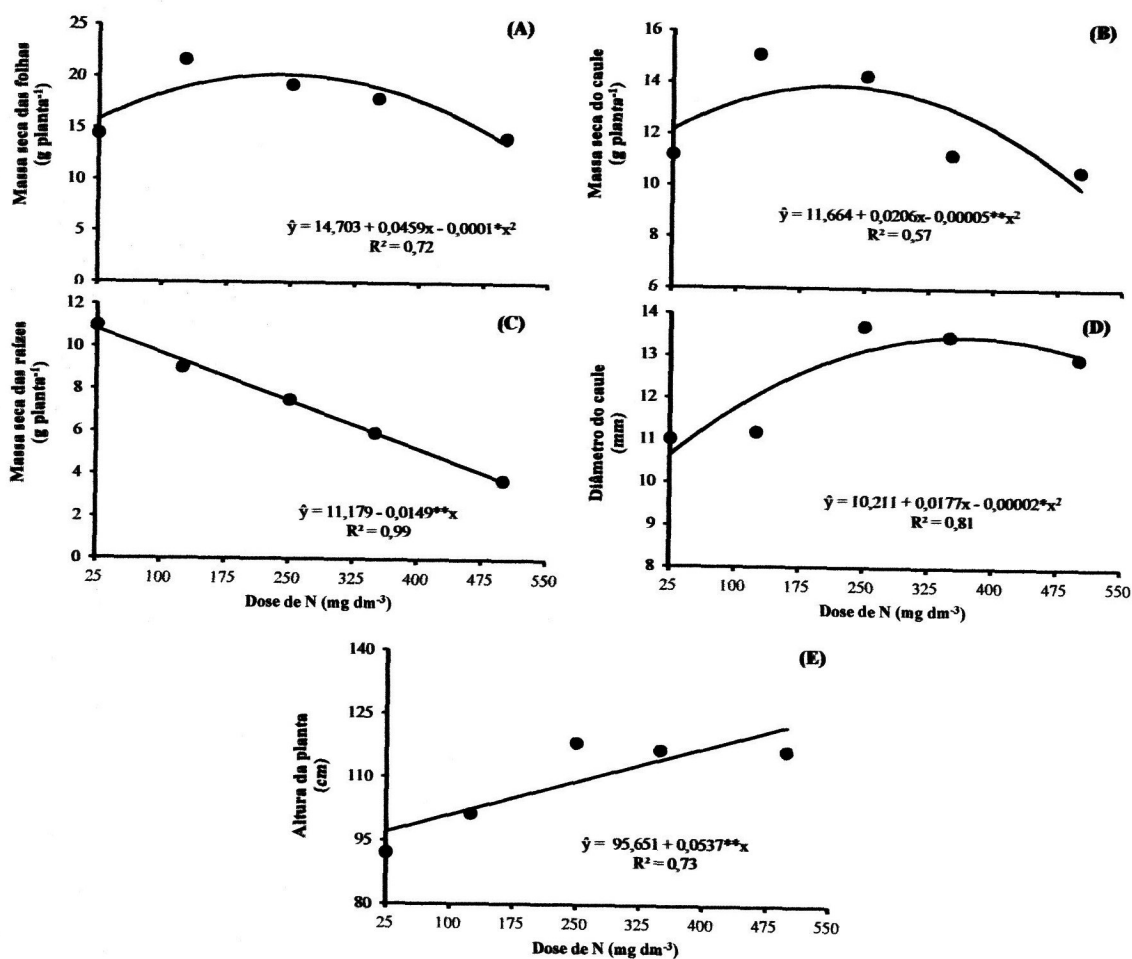


Figura 10. Matéria seca das folhas (A), do caule (B) e das raízes (C), diâmetro do caule (D) e altura da planta (E) de plantas de berinjela em função das doses de N.

** e *: Significativo ao nível de 1% e 5%, respectivamente, pelo teste de t.

Conforme análise de variância (Tabela 8A) as doses de N afetaram significativamente todas estas variáveis, enquanto o Si afetou apenas a taxa de transpiração e a taxa fotossintética, não observando interação Si x N para estas variáveis.

Foi observado comportamento linear para taxa de transpiração (Figura 11B) e condutância estomática (Figura 11C) e quadrática para a concentração intercelular de CO₂ (Figura 11A) e taxa fotossintética (Figura 11D) em função das doses de nitrogênio no solo. A taxa fotossintética apresentou valor máximo estimado na dose de 367 mg dm⁻³ N. Esse comportamento deve-se provavelmente à atuação do N na composição das moléculas de clorofilas, as quais são as responsáveis pela fotossíntese (EPSTEIN; BLOOM, 2006). Assim, é de se esperar que plantas bem nutridas em N apresentem maior taxa fotossintética em

comparação às plantas mal nutridas nesse nutriente, como já comentado no primeiro experimento.

Como já explicado no experimento I, o aumento da taxa de transpiração é decorrente de uma maior abertura estomática, a qual eleva a taxa de transpiração, aumentando as trocas gasosas e a condutância estomática da planta (EPSTEIN; BLOOM, 2006). Por outro lado, a diminuição da concentração intercelular de CO₂ com o aumento das doses de N, é possivelmente, uma resposta do aumento da taxa fotossintética e condutância estomática, diminuindo o CO₂ interno. Nas menores doses de N é possível que tenha havido diminuição do potencial de turgescência dos tecidos foliares (TAIZ; ZEIGER, 2004), provocando o fechamento dos estômatos, aumento da resistência à difusão do CO₂ e diminuição da taxa fotossintética (ROMERO-ARANDA et al., 1998; CHAVES et al., 2009).

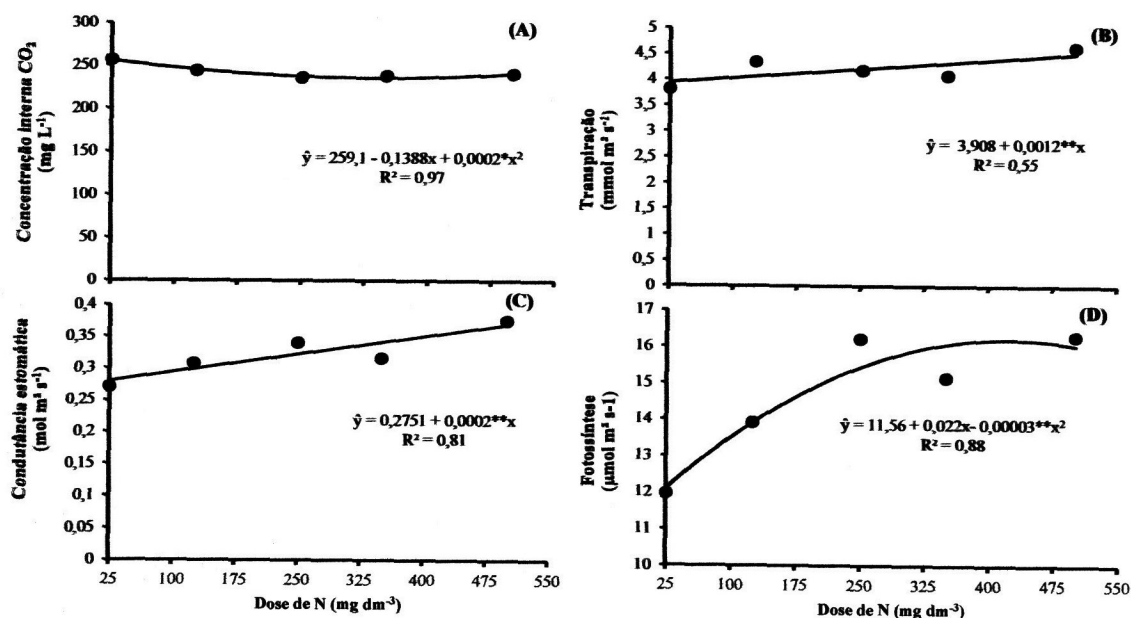


Figura 11. Concentração intercelular de CO₂ (A), transpiração (B), condutância estomática (C) e taxa fotossintética (D) em plantas de berinjela em função das doses de N.

** e *: Significativo ao nível de 1% e 5%, respectivamente, pelo teste de t.

O Si influenciou negativamente nas taxas de transpiração e fotossintética, independentemente das doses de N (Tabela 5), divergindo do que tem sido preconizado por outros autores (MA; TAKAHASHI, 2002; KORNDÖRFER et al., 2004; KORNDÖRFER et al., 2005; KORNDÖRFER, 2006; MA; YAMAJI, 2006). Destaca-se, contudo, que a magnitude do efeito, embora significativa, foi muito pequeno. Esses resultados concordam com o efeito do Si sobre as variáveis de crescimento da berinjela, o qual foi praticamente nulo, assim como os

resultados obtidos no experimento I, em que as variáveis de crescimento e de trocas gasosas também não foram afetadas pela aplicação de Si via radicular.

Tabela 5. Conteúdo intercelular de CO₂ (Ci), transpiração (E), condutância estomática (Gs) e taxa fotossintética (A) de plantas de berinjela em função da aplicação foliar de Si.

Tratamentos	Ci	E	Gs	A
	mg L ⁻¹	mmol m ⁻² s ⁻¹	mol m ⁻² s ⁻¹	μmol m ⁻² s ⁻¹
Sem Si	241,36 a	4,519 a	0,34 a	15,182 a
Com Si	244,623 a	3,911 b	0,304 a	14,248 b

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

4.2.2. Nutrição nitrogenada

Conforme análise de variância (Tabela 9A) os teores foliares das frações de N (amoniacal, nítrico, total e orgânico) foram influenciados significativamente pelas doses de N, sem observar significância para a aplicação de Si e da interação N x Si para as variáveis analisadas. Os teores de N mineral (amoniacal e nítrico) elevaram-se de forma linear em função das doses de N (Figura 12A), enquanto para os teores de nitrogênio orgânico e total o ajuste foi quadrático (Figura 12B).

Quanto aos acúmulos foliares das frações de N (Tabela 10A) os acúmulos de N nítrico, total e orgânico foram significativamente influenciados pelas doses de N, não observando significância para a aplicação de Si ou da interação N x Si, ocorrendo aumento com tendência quadrática em função das doses de N.

Considerando que elevadas concentrações de amônio nos tecidos é tóxico para a planta (TAIZ; ZEIGER, 2004), do ponto de vista fisiológico, esse efeito é positivo, pois a diminuição do teor de N amoniacal nas folhas indicou uma menor translocação desse íon para as folhas, sem afetar os teores de N total nesses tecidos.

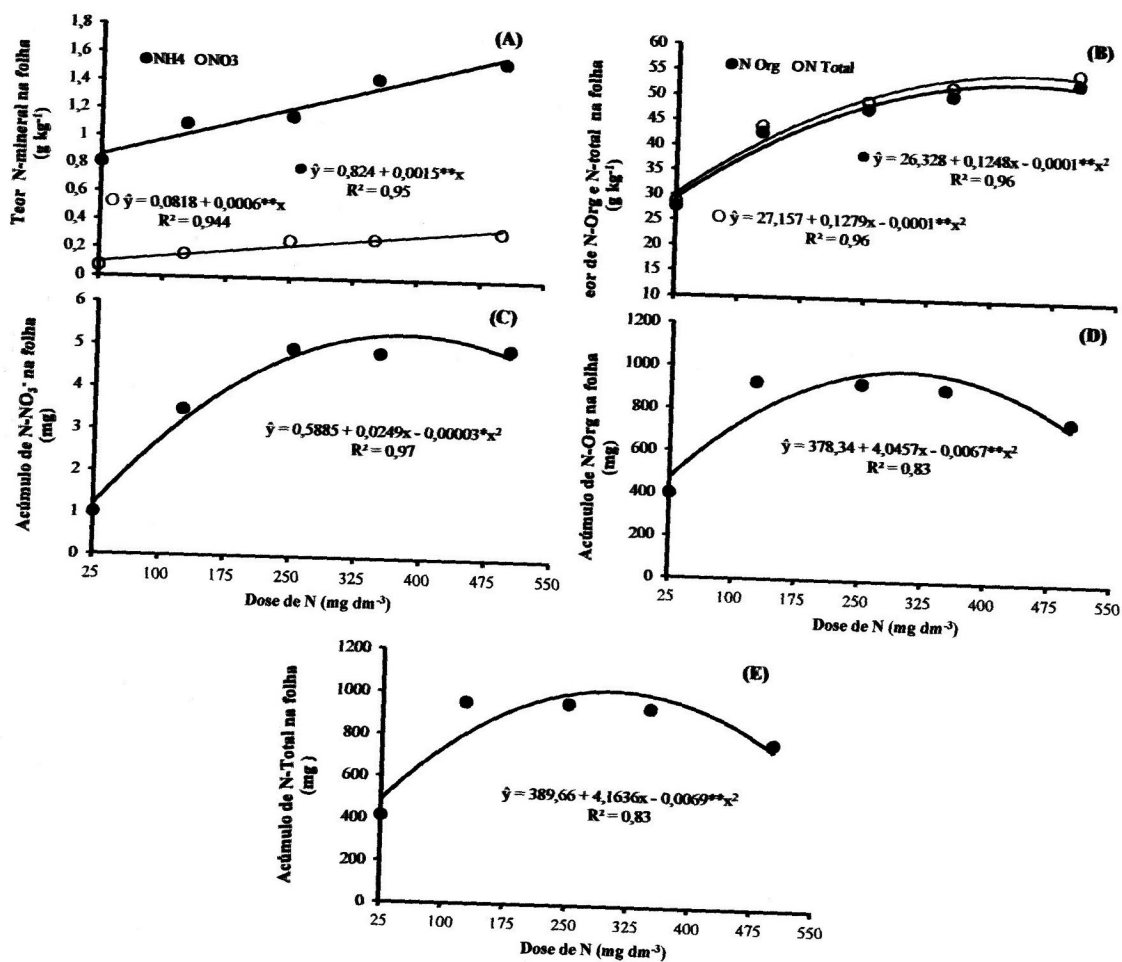


Figura 12. Teor de nitrogênio amoniacal e nítrico (A), orgânico e total (B), acúmulo de nitrogênio nítrico (C), orgânico (D) e total (E) em folhas de plantas de berinjela em função das doses de N.

** e *: Significativo ao nível de 1% e 5%, respectivamente, pelo teste de t.

A aplicação foliar com Si diminuiu o teor de N amoniacal nas folhas, como também das frações de N nítrico, total e orgânico porém sem significância. Os acúmulos das frações de N nas folhas não foram influenciados pela aplicação foliar com Si.

Tabela 6. Teores e acúmulos de nitrogênio amoniacal (N-NH_4^+), nítrico (N-NO_3^-), orgânico (N-Org) e total (N-Tot) nas folhas de plantas de berinjela em função da aplicação foliar com Si.

Tratamentos	Teores			
	N-NH_4^+	N-NO_3^-	N-Org	N-Tot
	mg g ⁻¹			
Sem Si	1,348 a	0,229 a	45,19 a	46,767 a
Com Si	1,072 b	0,216 a	43,94 a	45,233 a
	Acúmulos			
	N-NH_4^+	N-NO_3^-	N-Org	N-Tot
	mg planta ⁻¹			
Sem Si	23,367 a	3,912 a	779,383 a	806,662 a
Com Si	19,924 a	3,806 a	791,284 a	815,014 a

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Conforme análise de variância (Tabela 9A) todos os teores das frações de N no caule (amoniacal, nítrico, total e orgânico) foram significativamente influenciadas pelas doses de N, enquanto os teores de N nítrico, total e orgânico foram influenciados significativamente pela aplicação foliar com Si, não se observando interação N x Si.

Os teores de N amoniacal e nítrico no caule aumentaram em função das doses de N com tendência quadrática com valores máximos estimados nas doses de 550 e 483 mg dm⁻³ de N (Figura 13A). Os teores de N orgânico e total apresentaram comportamento crescente com tendência quadrática em função das doses de N (Figura 13B), com valores máximos estimados nas doses de 540 e 583 mg dm⁻³ de N.

Conforme análise de variância, todos os acúmulos das frações de N (amoniacal, nítrico, total e orgânico) foram influenciadas pelas doses de N, não se observando influência da aplicação foliar com Si e da interação N x Si sobre os acúmulos no caule (Tabelas 10A). Os acúmulos de N amoniacal e nítrico no caule apresentaram comportamento quadrático com tendência de aumento em função das doses de N (Figura 13C e 13D), com valores máximos estimados nas doses de 439 e 334 mg dm⁻³ de N, respectivamente. Os acúmulos de N orgânico e N total apresentaram comportamento quadrático em função das doses de N com tendência de aumento apresentando os maiores valores estimados nas doses de 359 e 357 mg dm⁻³ de N, respectivamente.

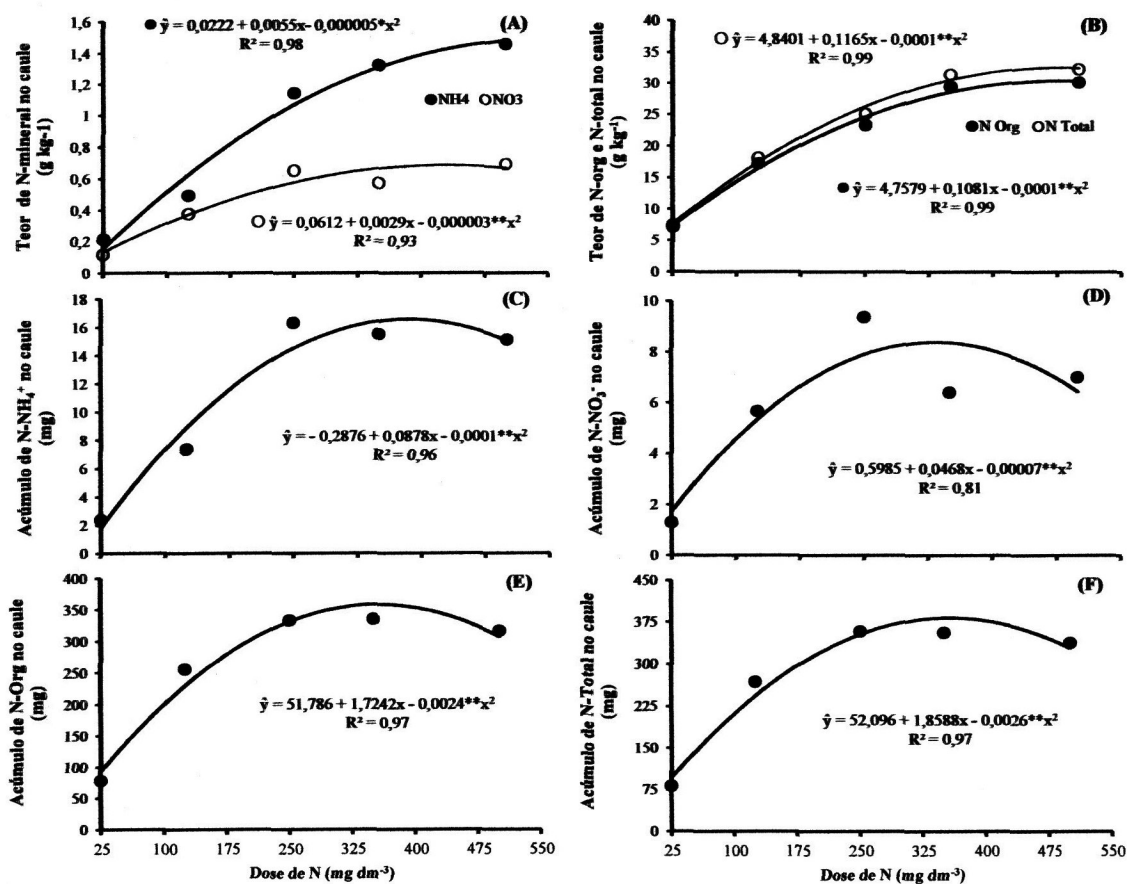


Figura 13. Teor de nitrogênio amoniacal e nítrico (A), orgânico e total (B), acúmulos de nitrogênio amoniacal (C), nítrico (D), orgânico (E) e total (F) em caule de plantas de berinjela em função das doses de N.

** e *: Significativo ao nível de 1% e 5%, respectivamente, pelo teste de t.

Os teores de N nítrico, orgânico e total no caule foram influenciados significativamente pela aplicação foliar com Si, apresentando menores valores quando não foi submetido à aplicação foliar com Si (Tabela 7). Os acúmulos das frações de N não foram influenciados pela aplicação foliar com Si.

Tabela 7. Teores e acúmulos de nitrogênio amoniacal (N-NH_4^+), nítrico (N-NO_3^-), orgânico (N-Org) e total (N-Tot) em caule de plantas de berinjela em função da aplicação foliar com Si.

Tratamentos	Teores			
	N-NH_4^+	N-NO_3^-	N-Org	N-Tot
	mg g ⁻¹			
Sem Si	1,02 a	0,529 a	23,151 a	24,7 a
Com Si	0,84 a	0,437 b	19,927 b	21,2 b

	Acúmulos			
	N-NH_4^+	N-NO_3^-	N-Org	N-Tot
	mg planta ⁻¹			
Sem Si	11,904 a	6,382 a	274,751 a	293,038 a
Com Si	10,788 a	5,552 a	252,881 a	269,221 a

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Conforme análise de variância os teores de N amoniacal, nítrico, orgânico e total nas raízes foram influenciados significativamente pelas doses de N, porém somente o teor de N nítrico foi influenciado significativamente pela aplicação foliar de Si (Tabela 9A). Os teores de N amoniacal e nítrico apresentaram aumentos em função das doses de N com tendência quadrática com valores máximos estimados nas doses de 360 e 225 mg dm⁻³ de N, respectivamente (Figura 14A). Os teores de N orgânico e total aumentaram de forma linear em função das doses de N (Figura 14B).

Os acúmulos de N amoniacal e nítrico nas raízes foram influenciados significativamente pelas doses de N, não ocorrendo o mesmo com os acúmulos de N orgânico e total, sem ocorrer influência da aplicação foliar de Si e da interação N x Si sobre as frações de N nesses tecidos (Tabela 10A).

Os acúmulos de N amoniacal e nítrico apresentaram acréscimos com tendência quadrática em função das doses de N, com valores máximos estimados nas doses de 282 e 320 mg dm⁻³ de N (Figuras 14C e 14D). Esse efeito pode ser explicado pela forma como os acúmulos foram obtidos, ou seja, relacionando-se a produção de matéria seca com as respectivas concentrações de N, dessa forma o efeito do aumento das concentrações de N nos tecidos radiculares (Figura 14) foi anulado pelo decréscimo da produção de matéria seca de raízes (Figura 10).

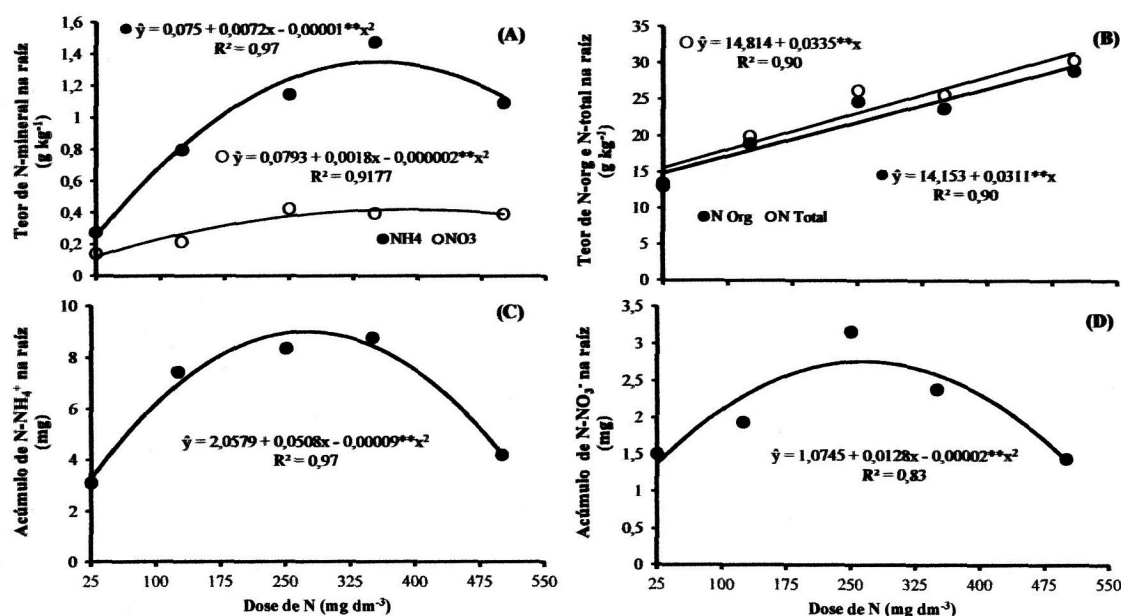


Figura 14. Teor de nitrogênio amoniacal e nítrico (A), orgânico e total (B), acúmulos de nitrogênio amoniacal (C) e nítrico (D) em raízes de plantas de berinjela em função das doses de N.

** e *: Significativo ao nível de 1% e 5%, respectivamente, pelo teste de t.

A aplicação foliar de Si influenciou apenas o teor de N nítrico nas raízes proporcionando valores maiores comparando com a testemunha (Tabela 8). Observou-se que nos tratamentos que foram submetidos à aplicação foliar de Si ocorreram maiores teores e acúmulos de N amoniacal e nítrico, e acúmulos de N orgânico e total, isso pode estar relacionado ao aumento da produção de matéria seca das raízes mesmo que não tenha sido significativo quanto à aplicação foliar de Si.

Tabela 8. Teores e acúmulos de nitrogênio amoniacal (N-NH₄⁺), nítrico (N-NO₃⁻), orgânico (N-Org) e total (N-Tot) em raízes de plantas de berinjela em função da aplicação foliar com Si.

Tratamentos	Teores			
	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	N-Org	N-Tot
	mg g ⁻¹			
Sem Si	0,893 a	0,287 b	22,253 a	23,433 a
Com Si	1,02 a	0,34 a	21,607 a	22,967 a
	Acúmulos			
	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	N-Org	N-Tot
	mg planta ⁻¹			
Sem Si	5,46 a	1,724 a	142,541 a	149,726 a
Com Si	7,28 a	2,456 a	159,318 a	169,055 a

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo Teste de Tukey.

A eficiência de utilização de N (EUN) foi influenciada pelas doses de N e aplicação foliar de Si, contudo sem haver interação entre os fatores (Tabela 11A). A EUN apresentou tendência quadrática decrescente em função dos aumentos das doses de N no solo. Esse comportamento reflete a resposta rápida da berinjela às menores doses de N aplicadas ao solo, a qual diminuiu nas doses mais elevadas desse nutriente. Isso ocorre porque a EUN está relacionada à matéria seca produzida e assim com o acúmulo total de N pela planta.

Como já mencionado, nas doses mais elevadas de N, uma expressiva parte do nitrogênio absorvido e acumulado pela planta não foi revertido em produção de matéria seca, diminuindo assim a eficiência de utilização do nutriente pela planta. Este fato é explicado pela lei dos incrementos não proporcionais, em que ocorre maior incremento de matéria seca nas doses mais baixas do nutriente, diminuindo nas doses mais elevadas, e portanto, diminui a EUN (NOVAIS et al., 2007).

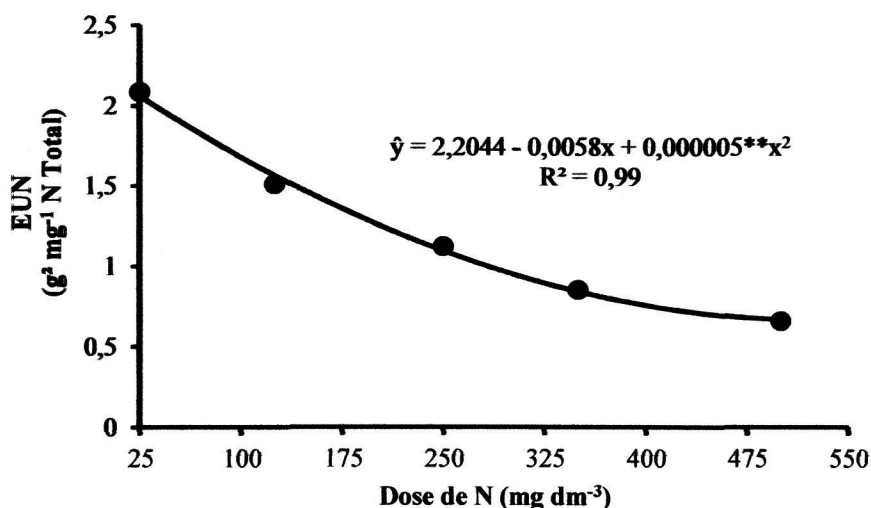


Figura 15. Eficiência de utilização de nitrogênio (EUN) em plantas de berinjela em função das doses de N.

** e *: Significativo ao nível de 1% e 5%, respectivamente, pelo teste de t.

A aplicação foliar com Si influenciou significativamente a EUN proporcionando valores maiores comparando com a testemunha, de 1,349 e 1,146 (g² mg⁻¹ N total). Esses valores estão relacionados à maior produção de matéria seca produzida no tratamento em que foi submetida à aplicação foliar de Si (mesmo que não significativo em função da aplicação foliar de Si) combinado com os acúmulos aproximados entre este e a testemunha, o que proporcionou maiores valores de EUN.

4.2.3. Teor foliar de silício

Conforme análise de variância o teor foliar de Si nas folhas foi influenciado significativamente pelas doses de N e pela interação N x Si, porém sem ocorrer influência da aplicação foliar de Si (Tabela 11A). Embora significativa, a análise de regressão não mostrou qualquer ajuste dessa variável em função das doses de N aplicadas (Figura 16). Em média, os teores de Si foram de 4,5 e 5,2 g kg⁻¹ de Si em base matéria seca, respectivamente para os tratamentos sem e com aplicação foliar de Si. Esses valores correspondem a 9,6 e 11,1 g kg⁻¹ de SiO₂ na matéria seca, portanto a espécie pelo critério de Faquin (2005) é considerada uma espécie não acumuladora de Si.

Assim como observado no experimento I, o fato de não ter havido diferença entre os tratamentos com e sem Si, também pode indicar um suprimento desse elemento à planta pelo solo, o que poderia ser confirmado com a avaliação da disponibilidade desse elemento no solo.

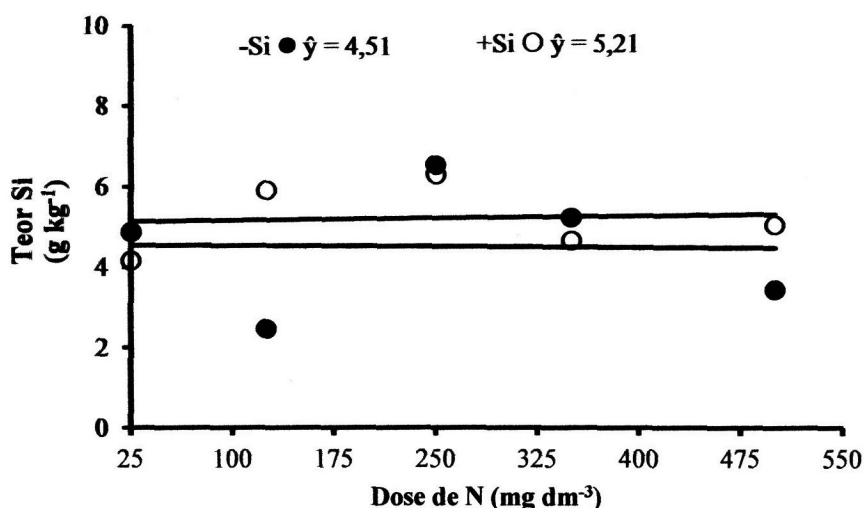


Figura 16. Teor de silício em folhas de plantas de berinjela em função das doses de N.

4.2.4. Correlações

Na tabela 9, observam-se os coeficientes de correlações entre as variáveis relacionadas ao crescimento e às trocas gasosas. Não foi observada correlação entre as variáveis relacionadas às trocas gasosas e à produção de matéria seca das folhas (MSF) e do caule (MSC), e o índice de área foliar (IAF), enquanto foram observadas correlações positivas entre a MSR e o conteúdo intercelular de CO₂ (Ci), e negativas quando confrontadas com as taxas fotossintética (A) e

transpiratória (E). O teor de Si nas folhas não obteve correlação com as variáveis relacionadas com o crescimento e as trocas gasosas.

Tabela 9. Coeficientes de correlação linear de Pearson entre as variáveis, matéria seca de folhas (MSF), matéria seca de caule (MSC), matéria seca de raízes (MSR), índice de área foliar (IAF), concentração interna de CO₂ (Ci), taxa de transpiração (E), condutância estomática (Gs), taxa fotossintética (A) e teores foliares de Si.

	Ci	E	Gs	A	Teor Si
MSF	0,03 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,04 ^{ns}	- 0,15 ^{ns}
MSC	- 0,11 ^{ns}	- 0,03 ^{ns}	- 0,09 ^{ns}	- 0,04 ^{ns}	0,23 ^{ns}
MSR	0,38*	- 0,37*	- 0,28 ^{ns}	- 0,41*	- 0,22 ^{ns}
IAF	0,11 ^{ns}	- 0,02 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,12 ^{ns}
Teor Si	- 0,26 ^{ns}	- 0,21 ^{ns}	- 0,20 ^{ns}	0,06 ^{ns}	-

**, * e ^{ns}: Significativo ao nível de 1%, 5% e não significativo, respectivamente, pelo teste de t.

Na tabela 10, observa-se os coeficientes de correlação entre as variáveis relacionadas ao crescimento, o teor de Si nas folhas e os teores das frações de N nas folhas, caule e raízes. Nas folhas, foram observadas correlações negativas quando se confrontou a produção de matéria secas das raízes (MSR) com os teores das frações de N, e o teor de Si quando confrontado com o teor de N amoniacal.

No caule, foi observado correlação negativa quando se confrontou a produção de matéria seca das raízes (MSR) com os teores das frações de N (amoniacal, nítrico, orgânico e total). Nas raízes observou-se correlação positiva quando se confrontou o teor de Si nas folhas com o teor de N nítrico nas raízes, indicando relação positiva entre os aumentos dos teores de Si nas folhas com o teor de nitrato nas raízes. Nas três partes da planta observou-se correlação negativa quando se confrontou os teores das frações de N com a MSR.

Tabela 10. Coeficiente de correlação linear de Pearson entre as variáveis matéria seca de folhas (MSF), matéria seca de caule (MSC), matéria seca de raízes (MSR), índice de área foliar (IAF), teor de Si nas folhas e aos teores das frações de nitrogênio nas partições de matéria seca.

Folhas				
	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	N-Org	N-Tot
MSF	0,23 ^{ns}	- 0,07 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,12 ^{ns}
MSC	- 0,26 ^{ns}	- 0,18 ^{ns}	- 0,03 ^{ns}	- 0,38 ^{ns}
MSR	- 0,40*	- 0,47**	- 0,58**	- 0,58**
IAF	- 0,03 ^{ns}	- 0,60 ^{ns}	- 0,01 ^{ns}	- 0,01 ^{ns}
Teor Si	- 0,37*	0,07 ^{ns}	- 0,02 ^{ns}	- 0,04 ^{ns}
Caule				
	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	N-Org	N-Tot
MSF	0,09 ^{ns}	- 0,02 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,03 ^{ns}
MSC	- 0,16 ^{ns}	- 0,10 ^{ns}	- 0,21 ^{ns}	- 0,21 ^{ns}
MSR	- 0,63**	- 0,52**	- 0,67**	- 0,67**
IAF	0,18 ^{ns}	0,07 ^{ns}	- 0,04 ^{ns}	- 0,02 ^{ns}
Teor Si	0,09 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,03 ^{ns}
Raízes				
	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	N-Org	N-Tot
MSF	0,19 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,09 ^{ns}
MSC	0,07 ^{ns}	- 0,02 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,02 ^{ns}
MSR	- 0,48**	- 0,55**	- 0,53**	- 0,54**
IAF	- 0,01 ^{ns}	- 0,01 ^{ns}	- 0,05 ^{ns}	- 0,49 ^{ns}
Teor Si	0,21 ^{ns}	0,36*	0,04 ^{ns}	0,02 ^{ns}

**, * e ^{ns}: Significativo ao nível de 1%, 5% e não significativo, respectivamente, pelo teste de t.

Na tabela 11, observa-se os coeficientes de correlação entre as variáveis relacionadas às trocas gasosas e os teores das frações de N nas folhas, caule e raízes. Nas folhas a condutância estomática (Gs) e a taxa fotossintética (A) obtiveram correlação positiva quando correlacionadas com todas as frações de N. No caule, observou-se correlação quando confrontou-se o conteúdo intercelular de CO₂ (Ci), com a condutância estomática e a taxa fotossintética com as frações de N, sendo que os coeficientes para o conteúdo intercelular de CO₂ foram negativos. Não foi observada correlação quando se confrontou os teores de N amoniacal e nítrico com a taxa transpiratória (E).

Nas raízes observou-se correlação positiva quando se confrontou os teores de N total e orgânico com as variáveis relacionadas às trocas gasosas. O teor de N nítrico apresentou correlação positiva com a condutância estomática (Gs) e a taxa fotossintética (A). Observou-se correlação quando se confrontou o teor de N amoniacal com o conteúdo intercelular de CO₂ (Ci) e a taxa fotossintética (A), com coeficientes negativos e positivos, respectivamente.

Tabela 11. Coeficiente de correlação linear de Pearson entre as variáveis relacionadas às trocas gasosas concentração interna de CO₂ (Ci), taxa de transpiração (E), condutância estomática (Gs), taxa fotossintética (A) e aos teores das frações de nitrogênio nas partições de matéria seca.

Folhas				
	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	N-Org	N-Tot
Ci	- 0,22 ^{ns}	- 0,53**	- 0,47**	- 0,47**
E	0,38*	0,35 ^{ns}	0,49**	0,49**
Gs	0,53**	0,39*	0,59**	0,60**
A	0,54**	0,65**	0,76**	0,76**
Caule				
	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	N-Org	N-Tot
Ci	- 0,41*	- 0,42*	- 0,53**	- 0,53**
E	0,28 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,42*	0,41*
Gs	0,57**	0,60**	0,52**	0,53**
A	0,74**	0,78**	0,74**	0,75**
Raízes				
	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	N-Org	N-Tot
Ci	- 0,64**	- 0,32 ^{ns}	- 0,54**	- 0,56**
E	0,09 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,47**	0,45*
Gs	0,21 ^{ns}	0,39*	0,39*	0,39*
A	0,60**	0,57**	0,61**	0,63**

**, * e ^{ns}: Significativo ao nível de 1%, 5% e não significativo, respectivamente, pelo teste de t.

De modo geral, o teor foliar de Si não se correlacionou com o crescimento e as trocas gasosas, enquanto observou-se relação negativa do teor de Si com o teor foliar de N amoniacal e positiva com o teor radicular de N nítrico; os teores das frações de N nas três partes da planta correlacionaram-se positivamente com a taxa fotossintética; a produção de matéria seca das raízes (MSR) correlacionou-se negativamente com os teores das frações de N nas três partes da planta.

4.2.5. Produção e qualidade dos frutos

Segundo a análise de variância foi observado efeito significativo das doses de N e a da aplicação foliar de Si sobre o diâmetro longitudinal (DL) e transversal (DT) dos frutos e a produção por planta, ocorrendo interação N x Si para essas variáveis e para a firmeza do fruto (Tabela 12A). O peso médio dos frutos e o número de frutos não foram influenciados pelas doses de N e pela aplicação de Si, também não sendo observada interação.

Para a produção de frutos em função das doses de N, não foi observado ajuste para equação na análise de regressão, embora se esperasse um comportamento definido em função das doses de N. Porém, observou-se que nas doses de 125 e 250 mg dm⁻³ de N, os maiores valores de produção independente da aplicação com Si. Efeitos de doses de N na literatura têm sido conflitantes, pois outros autores têm observado resultados em que ocorreu declínio (SILVA

et al, 2012) e aumentos (BABU et al, 2004) na produção de berinjela em função das doses de N. Quanto ao efeito do Si, a aplicação foliar elevou a produção por planta com produção de 371,57 g planta⁻¹, enquanto a testemunha com valor de 314,74 g planta⁻¹ (Tabela 12).

Tabela 12. Produção de frutos da berinjela em função de doses de nitrogênio e de silício via foliar.

Doses de N (mg dm ⁻³)	Sem Si	Com Si
	-----g planta ⁻¹ -----	
25	155,28 b	334,25 a
125	511,56 a	373,58 b
250	311,88 b	485,64 a
350	293,20 a	228,32 b
500	301,76 b	436,06 a
Média	314,74 B	371,57 A

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo Teste de Tukey.

A aplicação foliar de Si proporcionou decréscimos no diâmetro longitudinal (DL) dos frutos com tendência linear em função das doses de N, enquanto sem aplicação foliar com Si, houve decréscimo de forma quadrática com ponto mínimo na dose de 276 mg dm⁻³ de N (Figura 17A). Quanto à aplicação com Si o DL foi maior quando submetido à aplicação com Si nas menores doses de N diminuindo a diferença conforme aumento das doses de N. O diâmetro transversal (DT) do fruto respondeu de forma quadrática à aplicação sem e com Si em função das doses de N, ambos com tendência crescente (Figura 17B), resultado semelhante observado por Silva et al. (2012) em berinjela. A aplicação de Si proporcionou frutos com maior valor do DT estimado na dose de 307 mg dm⁻³ de N, enquanto na testemunha o menor valor estimado foi na dose de 201 mg dm⁻³ de N. Resultados semelhantes foram observados por Moraditochae et al. (2011).

A firmeza do fruto respondeu de forma linear com tendência decrescente em função das doses de N, quando submetida à aplicação foliar com Si, enquanto sem a aplicação com Si, a firmeza do fruto respondeu de forma quadrática com tendência crescente em função das doses de N (Figura 17C). No tratamento que não foi submetido à aplicação foliar com Si, a dose estimada que proporcionou o menor valor foi de 179 mg dm⁻³ de N.

Conforme observado na análise de variância as doses de N influenciaram no Brix°, no pH da polpa e na acidez titulável, enquanto que a aplicação foliar de Si influenciou no Brix° e na acidez titulável, ocorrendo interação N x Si para o Brix°, o teor de vitamina C e acidez titulável (Tabela 13A).

Os valores de °Brix dos frutos ajustaram-se quadrática com tendência crescente tanto com a aplicação foliar com Si quanto sem Si em função das doses de N (Figura 17D), resultado

também observado por Akanbi et al. (2007) em berinjela e por Barros et al. (2012) em melancia em função das doses de N. Com a aplicação foliar com Si a dose estimada que proporcionaria o maior valor de °Brix foi de 450 mg dm⁻³ de N, enquanto quando não submetido à aplicação foliar com Si o °Brix teve seu valor mínimo estimado na dose de 185 mg dm⁻³ de N.

O pH da polpa aumentou de forma quadrática em função das doses de N com valor máximo estimado na dose de 337,5 mg dm⁻³ de N (Figura 17E). Em geral o pH da polpa dos frutos variaram de 5,2 a 5,6, tornando-se menos ácidos conforme aumento das doses de N, resultado também observado por Akanbi et al. (2007) em berinjela.

O teor de vitamina C (ácido ascórbico) respondeu de forma linear com tendência decrescente em função das doses de N quando submetido à aplicação com Si, enquanto na testemunha a resposta foi pouco influenciada pelas doses de N (Figura 17F), resultado também observado por Porto (2013) em tomates.

A acidez titulável apresentou comportamento crescente em função das doses de N com tendência quadrática, quando submetido à aplicação foliar sem Si, com valor mínimo estimado na dose de 100 mg dm⁻³ de N, enquanto no tratamento sem aplicação com Si, a acidez titulável respondeu de forma linear com tendência crescente em função das doses de N (Figura 17G), comportamento também observado em frutos de melão (COELHO et al., 2003) e melancia (BARROS et al., 2012) em função das doses de N.

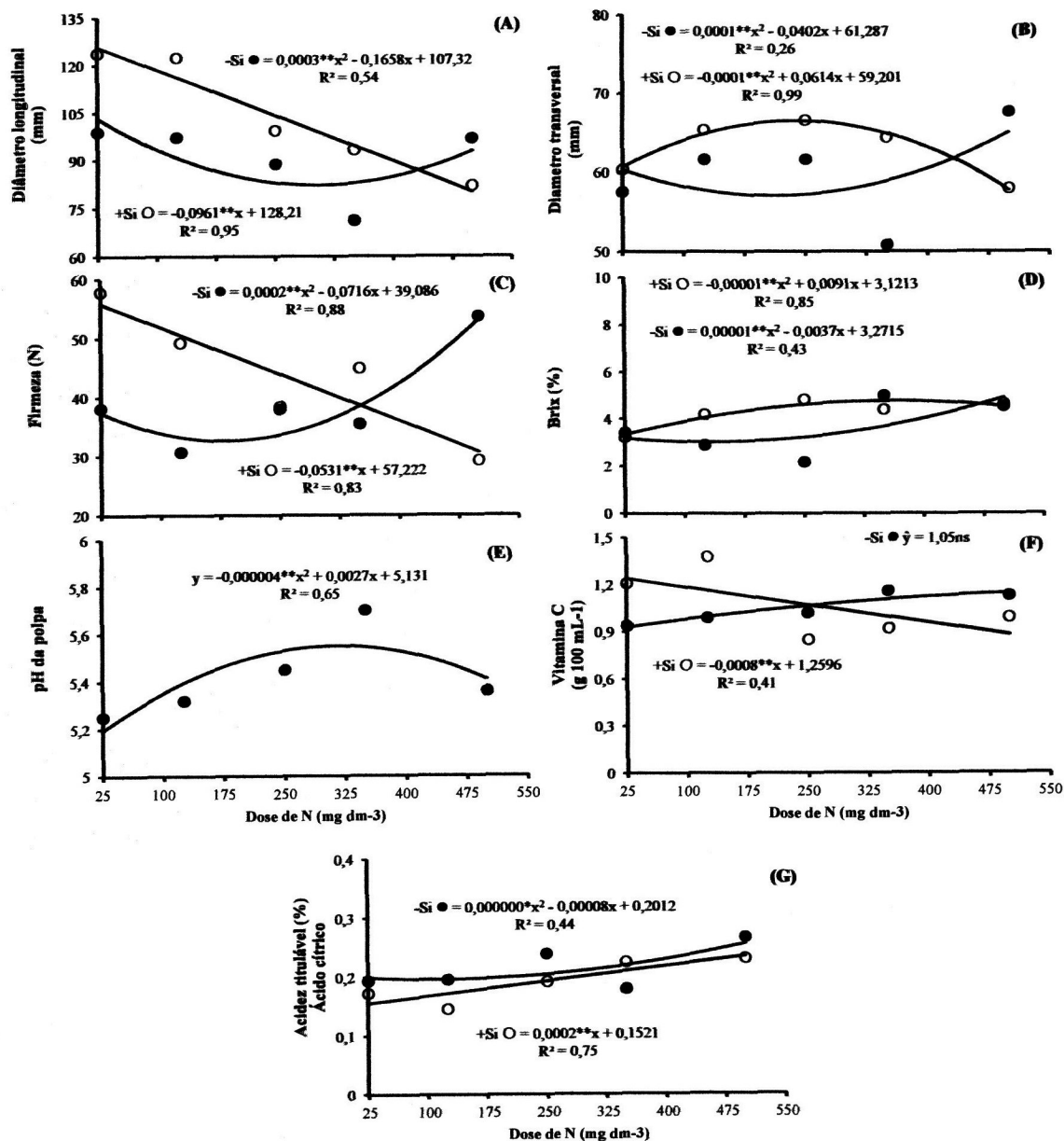


Figura 17. Diâmetro longitudinal (A) e transversal (B), firmeza (C), Brix° (D), pH da polpa (E), teor de vitamina C (F) e acidez titulável (G) de frutos de plantas de berinjela em função das doses de N.

** e *: Significativo ao nível de 1% e 5%, respectivamente, pelo teste de t.

Conforme resultado do teste de média a aplicação foliar com Si influenciou positivamente no diâmetro longitudinal (DL) e transversal (DL) dos frutos. Com relação às variáveis peso médio do fruto (PMF) e firmeza, mesmo não ocorrendo significância para aplicação foliar com Si, observa-se valores maiores para essas variáveis quando submetidas à aplicação foliar com Si, enquanto menor número de frutos (NF). A aplicação foliar com Si proporcionou frutos com maior °Brix e menor teor de acidez titulável. Com relação às variáveis

pH da polpa e vitamina C mesmo sem ocorrer significância em função da aplicação foliar com Si, observou-se maiores valores.

5. CONCLUSÕES

As doses de N proporcionaram efeitos significativos e positivos no crescimento, nas trocas gasosas, e nos teores das frações de N, porém diminuiu a EUN e o teor foliar de Si.

O Si via radicular exerceu influência sobre os teores foliares das frações de N e de nitrato nas raízes. Quando o silício foi aplicado via foliar influenciou negativamente nas taxas fotossintética e transpiratória, e positivamente nos teores foliares de Si e das frações de N, além de influenciar na qualidade dos frutos.

Quando o Si foi aplicado via radicular observou-se interação N x Si nos teores das frações de N nas folhas e de N nítrico nas raízes. Quando o Si foi aplicado via foliar observou-se interação no teor de Si foliar e nos parâmetros de qualidade da produção, tais como: o tamanho dos frutos, na vitamina C, °Brix, acidez titulável e na firmeza do fruto.

O aumento das doses de N diminuiu o teor foliar de Si quando o Si foi aplicação via radicular.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGARIE, S. et al. Effects of silicon on transpiration and leaf conductance in rice plants (*Oryza sativa* L.). **Plant Production Science**, v.1, n.2, p.89-95. 1998.

AKANBI, W.B. et al. Physico-chemical properties of egg plant (*Solanum melongena* L.) fruit in response to nitrogen fertilizer and fruit size. **Agricultural Journal**, v.2, n.1, p.140-148. 2007.

AL-AGHABARY, K. et al. Influence of silicon supply on chlorophyll content, chlorophyll fluorescence, and antioxidative enzyme activities in tomato plants under salt stress. **Journal of Plant Nutrition**, v.27, n.12, p.2101-2115. 2004.

ALMEIDA, G.D. et al. Calcium silicate and organic mineral fertilizer applications reduce phytophagy by *Thripspalmi* Karny (Thysanoptera: Thripidae) on eggplants (*Solanum melongena* L.). **Interciencia**, v.33, p.835-838. 2008.

AMINIFARD, M. H. et al. Responses of eggplant (*Solanum melongena* L.) to different rates of nitrogen under field conditions. **Journal of Central European Agriculture**. v.11, n.453-458. 2010.

AOAC – ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. 15ed., v.2. A.O.A.C., 1990. p.1058-1059 (method 967.21).

AOAC – ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists**, (method 942.15 B). A.O.A.C.,1995. Chapter 37. p.11.

ARAUJO, J.L. et al. Crescimento e produção do arroz sob diferentes proporções de nitrato e de amônio. **Revista Brasileira Ciência Solo**, v.36, p.921-930. 2012.

ÁVILA, F.W. et al. Interação entre silício e nitrogênio em arroz cultivado sob solução nutritiva. **Revista Ciência Agronômica**, v.140, p.184-190. 2010.

BABU, S. et al. Response of brinjal (*Solanum melongena* L.) Hybrids to varying levels of nitrogen application. **Agricultural Science Digest- A Research Journal**, v.24, p.33-35. 2004.

- BARBOSA FILHO, M.P. et al. **Importância do silício para a cultura do arroz (uma revisão de literatura)**. Informações Agrônomicas. Piracicaba, n. 89, p. 1-8, mar. 2000. Encarte técnico.
- BARKER; A.V.; BRYSON, G.M. Nitrogen. In: BARKER, A.V.; PILBEAM, D.J. **Handbook of plant nutrition**. Boca Raton: CRC Press, 2004. p.21-50.
- BARROS, M.M. et al. Produção e qualidade da melancia submetida a adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.10, p.1078-1084. 2012.
- BUCK, G.B. et al. Potassium silicate as foliar spray and rice blast control. **Journal of Plant Nutrition**, v.31, p.231-237. 2008.
- 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**. 2.ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.375-470.
- CHABOUSSOU, F. **Plantas doentes pelo uso de agrotóxico (a teoria da trofobiose)**. Porto Alegre: L & PM, 1987. 253 p.
- CHAVES, M.M. et al. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany**, v.103, p.551-560. 2009.
- COELHO, E.L. et al. Qualidade de fruto de melão rendilhado em função de doses de nitrogênio. **Bragantia**, v.62, n.2, p.173-178. 2003.
- CURRIE, H.A.; PERRY, C.C. Silica in plants: biological, biochemical and chemical studies. **Annals of Botany**, v.100, p.1383-1389. 2007.
- EMBRAPA HORTALIÇAS. **Berinjela (*Solanum melongena* L.)**. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Beringela/Beringela_Solanum_melongena_L/>. Acesso em: 19 Dezembro de 2013.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. ver. Atual. Rio de Janeiro. 1997, 212 p.
- EPSTEIN, E. Silicon. **Annual review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v.50, p.641-664, 1999.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Nutrição mineral de plantas: Princípios e Perspectivas**. Londrina: Editora Planta, 2006. 169 p.

FAO. FAOSTAT: Database. Disponível em: <<http://faostat.fao.org>>. Acesso em: 20 jan. 2013.

FAQUIN, V. **Diagnose do estado nutricional das plantas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2002. 77 p.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005. 183 p.

FERNANDES, O.B. et al. Efeito do nitrato de cálcio na redução do estresse salino no meloeiro. **Revista Caatinga**, v.23, p.93-103. 2010.

FERREIRA, D.F. **Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0**. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45, 2000, São Carlos. Anais... São Carlos: UFSCAR, 2000. p.255-258.

FILGUEIRA, F.A.R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna, produção e comercialização de hortaliças**. Viçosa: UFV, 2008. 421 p.

FURLANI, P.R.; GALLO, J.R. Determinação de silício em material vegetal, pelo método colorimétrico do “azul-de-molibdênio”. **Bragantia**, v.37, p.5-11. 1978.

FURTINI NETO, A.E.; VALE, F.R.; RESENDE, A.V.; GUILHERME, L.R.G.; GUEDES, G.A.A. **Fertilidade do solo**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. 261p.

GHOSH, S.; PALIYATH, P.; PEIRSON, D.; FLETCHER, R.A. Nitrogen mobilization during senescence. In: SRISVASTANA, H.S.; SINGH, R.P. (Eds.). **Nitrogen in higher plants**. New Delhi, Associated Publishing Company, 1995. p.337-365.

GOMES, D. et al. Aquaporins are multifunctional water and solute transporters highly divergent in living organisms. **Biochimica Biophysica Acta**, v.1788, p.1213–1228. 2009.

GONÇALVES, M.C.R. et al. Modesto efeito hipolipemiante do extrato seco de berinjela (*Solanum melongena* L.) em mulheres com dislipidemias, sob controle nutricional. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v.16, p.656-663. 2006.

GOUSSAIN, M.M. et al. Efeito da aplicação de silício em plantas de milho no desenvolvimento biológico de lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). **Neotropical Entomology**, v.31, p.305-310. 2002.

GUNES, A. et al. Silicon-mediated changes of some physiological and enzymatic parameters symptomatic for oxidative stress in spinach and tomato grown in sodic-B toxic soil. **Plant Soil**, v.290, p.103-114. 2007.

GUNNARSSON, I.; ARNÓSSON, S. Amorphous silica solubility and the thermodynamic properties of $\text{H}_4\text{SiO}_4^\circ$ in the range of 0° to 350° at P_{sat} . **Geochimica Cosmochimica Acta**, v.64, n.13, p.2295-2307. 2000.

HEDGE, D.M. **Nutrient requirements of solanaceous vegetable crops**. Disponível em: <<http://www.agnet.org/library.php?func=view&id=20110801133428>>. Acesso em: 22 Dezembro de 2013.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo agropecuário**. Rio de Janeiro, 2006. 777p.

INDA JÚNIOR, A.V.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P.C. Composição da fase sólida mineral do solo. In: MEURER, E.J. (Ed.). **Fundamentos de química do solo**. Porto Alegre, Evangraf, 2012. p.29-59.

JONES, L.H.P.; HANDRECK, K.A. Silica in soils, plants, and animals. **Advances in Agronomy**, v.19, p.107-149. 1967.

KIRIMI, J.K. et al. Effects of nitrogen and spacing on fruit yield of tomato. **African Journal of Horticultural Science**, v.5, p.50-60. 2011.

KLUTHCOUSKI, J.; NELSON, L.E. Variations in the manganese concentrations in soybean trifoliates. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**. v.10, p.1299-1310. 1979.

KORNDÖRFER, G.H. **Elementos benéficos**. In: FERNANDES, M.S. Nutrição mineral de plantas. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, 2006. p.355-374.

KORNDÖRFER, G.H. et al. Avaliação de métodos de extração de silício para solos cultivados com arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.101-106. 1999.

KORNDÖRFER, G.H. et al. **Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura**. Boletim técnico n.1 – 2ªed. Universidade Federal de Uberlândia – Instituto de Ciências Agrárias – Uberlândia, MG. 2002.

LANA, R.M.Q. et al. Efeito do silicato de cálcio sobre a produtividade e acumulação de silício no tomateiro. **Bioscience Journal**, v.19, p.15-20. 2003.

LIANG, Y. et al. Exogenous silicone increases antioxidant enzyme activities and reduces lipid peroxidation in roots of salt-stressed barley (*Hordeum vulgare L.*). **Abstract of Second Silicon Conference**, p.140-151. 2002.

LUZ, J.Q.M. et al. Produção hidropônica de alface em solução nutritiva com e sem silício. **Horticultura brasileira**, v.24, p.295-300. 2006.

MA, J. et al. A silicon transporter in rice. **Nature**, v.440, p.688-691. 2006.

MA, J. et al. Effect of silicone on the growth of rice planta at different growth stages. **Soil Science and Plant Nutrition**, v.35, n.3, p.347-356. 1989.

MA, J.F. Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and biotic stresses. **Soil Science and Plant Nutrition**, v.50, n.1, p.11-18. 2004.

MA, J.F.; TAKAHASHI, E. **Soil, fertilizer, and plant silicon research in Japan**, Elsevier, 2002. 274 p.

MA, J.F.; YAMAJI, N. Silicon uptake and accumulation in higher plants. **Plant Science**, v.11, p.392-397. 2006.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: CERES, 1980. 251 p.

MALAVOLTA, E. et al. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. Ed., Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

MARODIN, J.C. **Produtividade, qualidade físico-química e conservação pós-colheita de frutos de tomateiro em função de fontes e doses de silício**. UNICENTRO, 2011. 64p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, PR.

MARODIN, J.C. et al. Qualidade pós-colheita de frutos de tomateiro em função de fontes e doses de silício. **Horticultura Brasileira**, v.29, p.127-134. 2011.

MARSCHNER. H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2ed. London: Academic, 1995. 889p.

MAUAD, M. et al. Teores de silício no solo e na planta de arroz de terras altas, com diferentes doses de adubação silicatada e nitrogenada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.867-873. 2003.

MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. 5.Ed. Norwell: Kluwer Academic Publishers, 2001. 849p.

MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Effect of silicon on the growth of solution-cultured cucumber plant. **Soil Science and Plant Nutrition**, v.29, n.1, p.71-83. 1983.

MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Effect of silicon on the growth of soybean plants in a solution culture. **Soil Science and Plant Nutrition**, v.31, n.4, p.625-636. 1985.

MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Silicon deficiency of tomato plant. **Soil Science and Plant Nutrition**, v.24, n.2, p.175-189. 1978.

MORADITOECHAE, M. et al. Effects of vermicompost application and nitrogen fertilizer rates on fruit yield and several attributes of eggplant (*Solanum melongena* L.) in Iran. **World Applied Sciences Journal**, v.15, n.2, p.174-178. 2011.

NOVAIS, R.F.; VENEGAS, V.H.A; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Eds.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017p.

OLONIRUHA, J.A. Effect of graded levels of nitrogen on growth and yield of eggplant in Kabba, Southern Guinea Savana ecological zone of Nigeria. In: **African Crop Science Conference Proceedings**, 9, p.241-242. 2009.

PILON, C. **Aplicação de silício via solo e foliar na cultura da batata (*Solanum tuberosum* L.) sob deficiência hídrica**. UNESP, 2011. 65p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP.

PORTO, J.S. **Fontes e doses de nitrogênio na produção e qualidade de tomate híbrido Silvety**. UESB, 2013. 86p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, BA.

POZZA, A.A.A. **Silício em mudas de cafeeiro: efeito na nutrição mineral e na suscetibilidade à cercosporiose em três variedades**. UFLA, 2004. 84p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

- RAIJ, B. **Avaliação da fertilidade do solo**. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 1991. 142 p.
- RIBEIRO, C.S.C. et al. **Cultivo da berinjela**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 1998. 23 p. (Embrapa Hortaliças. Instrução Técnica 15).
- RICHMOND, K.E.; SUSSMAN M. Got silicon ? The non-essential beneficial plant nutrient. **Current Opinion in Plant Biology**, v.6, p.268-272. 2003.
- ROMERO-ARANDA, M.R. et al. Silicon alleviates the deleterious salt effect on tomato plant growth by improving plant water status. **Journal of Plant Physiology**, v.163, p.847-855. 2006.
- ROMERO-ARANDA, R. et al. Physiological and anatomical disturbances induced by chloride salts in sensitive and tolerant citrus: beneficial and detrimental effects of cations. **Plant, Cell and Environmental**, v.21, p.1243-1253. 1998.
- SANTOS, G.R. et al. Silicon efficiency combined with nitrogen and seed treatment on disease control of paddy rice. **Bioscience Journal**, v.19, p.43-49. 2003.
- SAS. **SAS/STAT 9.3 User's Guide**. Cary, NC: SAS Institute Inc. 2011, 8621p.
- SAVANT, N. et al. Silicon in management and sustainable rice production. **Advances in Agronomy**, London, v.58, p.151-199. 1997.
- SIDDIQI, M.Y.; GLASS, A.D.M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. **Journal of Plant Nutrition**, v.4, p.289-302. 1981.
- SILVA, N.K.C. et al. Efeito da adubação nitrogenada sobre a produção da berinjela irrigada com água salina. In: Reunião brasileira de fertilidade do solo e nutrição de plantas (Fertbio).Maceió, 2012. Anais. Maceió, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2012. CD-ROM.
- SISTANI, K.R. et al. Effect of rice hull ash silicon on rice seedling growth. **Journal of Plant Nutrition**, v.20, p.195-201. 1997.
- SNYDER, G.H.; MATINCHENKOV, V.V.; DATNOFF, L.E. Silicon. In: BARKER, A.V.; PILBEAM, D.J. **Handbook of plant nutrition**. Boca Raton: CRC Press, 2004. p.21-50.
- SYSTAT SOFTWARE INC. TableCurve 3D v4.0. 2002

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: ARTMED, 2004.

TAKAHASHI, E. Uptake mode and physiological functions of silica. In: MATSUO, T. et al. *Science of the rice plant: physiology*. Tokyo: **Food and Agriculture Policy Research Center**, 1995. cap. 5, p.420-433.

TEDESCO, M.J. et al. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre, UFRGS, Faculdade de Agronomia, Departamento de Solos, Boletim Técnico n. 5, 1985, 95p.

WALLACE, A. Relationships among nitrogen, silicon, and heavy metal uptake by plants. **Soil Science**, v.147, p.457-460. 1989.

WARNER, J. et al. Effects of nitrogen fertilization on fruit yield and quality of processing tomatoes. **Canadian Journal of Plant Science**, v.84, p.865-871. 2004.

WU, Q.S. et al. Genetic dissection of silicon uptake ability in rice (*Oryza sativa* L.), **Plant Science**, v.171, p.441– 448. 2006.

APÊNDICE

Tabela 1A. Resumo da análise de variância para valores da massa seca das folhas (MSF), do caule (MSC), e das raízes (MSR), índice de área foliar (IAF) de plantas de berinjela em função de doses de N e Si via radicular.

Fonte de variação	Quadrado médio				
	GL	MSF	MSC	MSR	IAF
N	4	155,135**	61,108**	24,351**	6,385**
Si	3	1,015 ^{ns}	0,767 ^{ns}	0,246 ^{ns}	0,134 ^{ns}
N x Si	12	0,579 ^{ns}	0,767 ^{ns}	1,184 ^{ns}	0,241 ^{ns}
Resíduo	60	0,961	0,973	0,925	0,209
CV (%)		9,6	15,05	17,86	29,79

** e ^{ns}: significativo a 1% e não significativo pelo teste de F, respectivamente. N: doses de nitrogênio; Si: doses de Si; CV: coeficiente de variação.

Tabela 2A. Resumo da análise de variância para valores de concentração intercelular de CO₂ (Ci), taxa de transpiração (E), condutância estomática (Gs) e taxa fotossintética (A) de plantas de berinjela em função de doses de N e Si via radicular.

Fonte de variação	Quadrado médio				
	GL	Ci	E	Gs	A
N	4	8.123,67**	1,996**	0,038**	169,142**
Si	3	687,51 ^{ns}	0,213 ^{ns}	0,002 ^{ns}	2,334 ^{ns}
N x Si	12	360,66 ^{ns}	0,635 ^{ns}	0,002 ^{ns}	4,525 ^{ns}
Resíduo	60	409,49	0,445 ^{ns}	0,006 ^{ns}	7,167 ^{ns}
CV (%)		7,69	14,62	20,87	19,77

** e ^{ns}: significativo a 1% e não significativo pelo teste de F, respectivamente. N: doses de nitrogênio; Si: doses de Si; CV: coeficiente de variação.

Tabela 3A. Resumo da análise de variância para teor de nitrogênio amoniacal (N-NH₄⁺), nítrico (N-NO₃⁻), orgânico (N-Org) e total (N-Total) nas folhas, caule e raízes de plantas de berinjela em função de doses de N e Si via radicular.

Quadrados médios					
Fonte de variação	Folhas				
	GL	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	N-Org	N-Total
N	4	4,807**	0,0728**	2396,212**	2622,875**
Si	3	0,185 ^{ns}	0,009 ^{ns}	18,439*	19,045*
N x Si	12	0,241**	0,02**	9,467 ^{ns}	8,692 ^{ns}
Resíduo	60	0,088	0,003	5,101	5,371
CV (%)		19,75	37,3	7,61	7,4
Caule					
	GL	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	N-Org	N-Total
N	4	2,704**	2,502**	633,006**	797,656**
Si	3	0,008 ^{ns}	0,028 ^{ns}	3,324 ^{ns}	4,033 ^{ns}
N x Si	12	0,009 ^{ns}	0,026 ^{ns}	4,774 ^{ns}	5,606 ^{ns}
Resíduo	60	0,016	0,02	3,376	3,5
CV (%)		24,65	36,16	13,52	12,9
Raízes					
	GL	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	N-Org	N-Total
N	4	1,488**	1,307**	419,068**	492,325**
Si	3	0,012 ^{ns}	0,155**	0,42 ^{ns}	0,483 ^{ns}
N x Si	12	0,009 ^{ns}	0,059**	3,818 ^{ns}	3,608 ^{ns}
Resíduo	60	0,009	0,008	5,31	5,725
CV (%)		19,92	27,14	14,16	14,01

**, * e ^{ns}: significativo a 1%, 5% e não significativo pelo teste de F, respectivamente. N: doses de nitrogênio; Si: doses de Si; CV: coeficiente de variação.

Tabela 4A. Resumo da análise de variância para acúmulo de nitrogênio amoniacal (N-NH₄⁺), nítrico (N-NO₃⁻), orgânico (N-Org) e total (N-Total) nas folhas, caule e raízes de plantas de berinjela em função de doses de N e Si via radicular.

Quadrados médios					
Fonte de variação	Folhas				
	GL	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	N-Org	N-Total
N	4	1439,889**	17,533**	624757,296**	690795,113**
Si	3	15,733 ^{ns}	0,475 ^{ns}	960,16 ^{ns}	916,204 ^{ns}
N x Si	12	32,152**	1,954**	1924,392 ^{ns}	2002,875 ^{ns}
Resíduo	60	11,488	0,405	1651,493	1738,184
CV (%)		20,72	41,86	12,28	11,95
Caule					
	GL	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	N-Org	N-Total
N	4	195,564**	164,476**	60424,04**	73583,567**
Si	3	0,307 ^{ns}	2,935 ^{ns}	734,934 ^{ns}	856,952 ^{ns}
N x Si	12	1,108 ^{ns}	1,859 ^{ns}	845,757 ^{ns}	961,918 ^{ns}
Resíduo	60	1,097	1,406	856,764	920,177
CV (%)		28,04	40,03	30,14	29,22
Raízes					
	GL	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	N-Org	N-Total
N	4	56,58**	46,215**	26821,94**	30182,23**
Si	3	0,947 ^{ns}	3,328**	91,486 ^{ns}	92,584 ^{ns}
N x Si	12	1,075*	2,151**	714,804 ^{ns}	775,586 ^{ns}
Resíduo	60	0,552	0,517	554,138	608,958
CV (%)		26,88	38,46	25,29	25,28

**, * e ^{ns}: significativo a 1%, 5% e não significativo pelo teste de F, respectivamente. N: doses de nitrogênio; Si: doses de Si; CV: coeficiente de variação.

Tabela 5A. Resumo da análise de variância eficiência de utilização de nitrogênio (EUN) e teor de Si nas folhas de plantas de berinjela em função de doses de N e Si via radicular.

	GL	EUN	Teor Si
N	4	0,829**	17,365**
Si	3	0,021 ^{ns}	6,505*
N x Si	12	0,016 ^{ns}	14,542**
Resíduo	60	0,018	2,222
CV (%)		12,87	29,64

**, * e ^{ns}: significativo a 1%, 5% e não significativo pelo teste de F, respectivamente. N: doses de nitrogênio; Si: doses de Si; CV: coeficiente de variação.

Tabela 6A. Resumo da análise de variância para valores da massa seca das folhas (MSF), do caule (MSC) e de raízes (MSR) de plantas de berinjela em função de doses de N via radicular e Si via foliar.

Fonte de variação	Quadrados médios			
	GL	MSF	MSC	MSR
N	4	61,5*	25,148**	46,43**
Si	1	5,999 ^{ns}	5,466 ^{ns}	10,226 ^{ns}
N x Si	4	3,773 ^{ns}	6,054 ^{ns}	1,021 ^{ns}
Resíduo	20	21,5	4,079 ^{ns}	8,32
CV (%)		26,49	16,18	38,72

** e ^{ns}: significativo a 1% e não pelo teste de F, respectivamente. N: doses de nitrogênio; Si: doses de Si; CV: coeficiente de variação.

Tabela 7A. Resumo da análise de variância para valores de índice de área foliar (IAF), altura das plantas (ALT) e diâmetro do caule (DC) de plantas de berinjela em função de doses de N via radicular e Si via foliar.

Fonte de variação	Quadrados médios			
	GL	IAF	ALT	DC
N	4	0,003 ^{ns}	824,05*	9,778**
Si	1	0,008 ^{ns}	388,8 ^{ns}	3,816 ^{ns}
N x Si	4	0,036 ^{ns}	380,217 ^{ns}	0,504 ^{ns}
Resíduo	20	0,101	253,4	2,111
CV (%)		27,43	14,6	11,65

** e ^{ns}: significativo a 1% e não pelo teste de F, respectivamente. N: doses de nitrogênio; Si: doses de Si; CV: coeficiente de variação.

Tabela 8A. Resumo da análise de variância para valores de concentração intercelular de CO₂ (Ci), taxa de transpiração (E), condutância estomática (Gs) e taxa fotossintética (A) de plantas de berinjela em função de doses de N via radicular e Si via foliar.

Fonte de variação	Quadrados médios				
	GL	Ci	E	Gs	A
N	4	395,585*	0,57*	0,009*	19,933**
Si	1	79,87 ^{ns}	2,77**	0,009 ^{ns}	6,534*
N x Si	4	106,945 ^{ns}	0,127 ^{ns}	0,001 ^{ns}	2,46 ^{ns}
Resíduo	20	10,979	0,137	0,003 ^{ns}	1,384
CV (%)		4,53	8,8	16,17	7,99

** e ^{ns}: significativo a 1% e não pelo teste de F, respectivamente. N: doses de nitrogênio; Si: doses de Si; CV: coeficiente de variação.

Tabela 9A. Resumo da análise de variância para teores de nitrogênio amoniacal (N-NH₄⁺), nítrico (N-NO₃⁻), orgânico (N-Org) e total (N-Total) nas folhas, caule e raízes de plantas de berinjela em função de doses de N via radicular e Si via foliar.

Quadrado médio					
Fonte de variação	Folhas				
	GL	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	N-Org	N-Total
N	4	0,522**	0,07**	624,606**	672,083**
Si	1	0,568*	0,001 ^{ns}	11,641 ^{ns}	17,633 ^{ns}
N x Si	4	0,159 ^{ns}	0,003 ^{ns}	17,365 ^{ns}	20,133 ^{ns}
Resíduo	20	0,09	0,004	13,286	12,95
CV (%)		24,83	27,15	8,18	7,82
	Caule				
	GL	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	N-Org	N-Total
N	4	1,777**	0,34**	553,467**	643,825**
Si	1	0,251 ^{ns}	0,064*	77,988**	91,875**
N x Si	4	0,073 ^{ns}	0,017 ^{ns}	6,318 ^{ns}	7,375 ^{ns}
Resíduo	20	0,077	0,011	4,51	4,925
CV (%)		30,01	22,32	9,86	9,67
	Raízes				
	GL	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	N-Org	N-Total
N	4	1,216**	0,098**	222,948**	260,283**
Si	1	0,121 ^{ns}	0,02*	3,128 ^{ns}	1,633 ^{ns}
N x Si	4	0,041 ^{ns}	0,002 ^{ns}	12,02 ^{ns}	13,3 ^{ns}
Resíduo	20	0,043	0,004	19,839 ^{ns}	20,417
CV (%)		21,87	20,03	20,31	19,48

** e ^{ns}: significativo a 1% e não pelo teste de F, respectivamente. N: doses de nitrogênio; Si: doses de Si; CV: coeficiente de variação.

Tabela 10A. Resumo da análise de variância para acúmulo de nitrogênio amoniacal (N-NH₄⁺), nítrico (N-NO₃⁻), orgânico (N-org) e total (N-total) nas folhas, caule e raízes de plantas de berinjela em função de doses de N via radicular e Si via foliar.

Quadrado médio					
Fonte de variação	Folhas				
	GL	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	N-Org	N-Total
N	4	205,28 ^{ns}	17,653**	306280,08**	325106,56**
Si	1	88,889 ^{ns}	0,084 ^{ns}	1062,302 ^{ns}	523,23 ^{ns}
N x Si	4	308,256 ^{ns}	0,342 ^{ns}	16339,51 ^{ns}	18623,45 ^{ns}
Resíduo	20	101,52	3,267	64294,166	69217,36
CV (%)		46,55	46,83	32,29	32,45
	Caule				
	GL	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	N-Org	N-Total
N	4	229,243**	52,294**	70594,488**	82256,538**
Si	1	9,336 ^{ns}	5,17 ^{ns}	3587,404 ^{ns}	4254,192 ^{ns}
N x Si	4	13,448 ^{ns}	3,476 ^{ns}	2065,848 ^{ns}	2334,958 ^{ns}
Resíduo	20	22,321	2,3	2864,331	3341,533
CV (%)		41,64	25,44	20,29	20,56
	Raízes				
	GL	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	N-Org	N-Total
N	4	39,387*	3,047*	5316,024 ^{ns}	6094,27 ^{ns}
Si	1	24,852 ^{ns}	4,018 ^{ns}	2111,07 ^{ns}	2802,222 ^{ns}
N x Si	4	2,526 ^{ns}	0,086 ^{ns}	662,04 ^{ns}	715,062 ^{ns}
Resíduo	20	10,895	0,966	4790,116	5246,353
CV (%)		51,81	47,03	45,86	45,44

** e ^{ns}: significativo a 1% e não pelo teste de F, respectivamente. N: doses de nitrogênio; Si: doses de Si; CV: coeficiente de variação.

Tabela 11A. Resumo da análise de variância para eficiência de utilização de nitrogênio (EUN) e teor de Si nas folhas de plantas de berinjela em função de doses de N via radicular e Si via foliar.

Fonte de variação	GL	EUN	Teor Si
N	4	1,933**	5,053*
Si	1	0,309**	3,7 ^{ns}
N x Si	4	0,034 ^{ns}	4,8*
Resíduo	20	0,03	1,52
CV (%)		13,89	25,37

** e ^{ns}: significativo a 1% e não pelo teste de F, respectivamente. N: doses de nitrogênio; Si: doses de Si; CV: coeficiente de variação.

Tabela 12A. Resumo da análise de variância para valores de número de frutos (NF), diâmetro longitudinal (DL) e transversal (DT), peso médio dos frutos (PMF), firmeza (F) e produção (PROD) de frutos de berinjela em função de doses de N via radicular e Si via foliar.

Fonte de variação	Quadrados médios						
	GL	NF	DL	DT	PMF	F	PROD
N	4	0,178 ^{ns}	984,32**	50,84**	676,66 ^{ns}	85,47 ^{ns}	45161,332**
Si	1	0,062 ^{ns}	1381,49**	71,55**	3276,08 ^{ns}	168,98 ^{ns}	24226,993**
N x Si	4	0,412 ^{ns}	429,66**	104,36**	3287,15 ^{ns}	491,13**	32757,046**
Resíduo	20	0,201	14,948	7,87	1184,66	41,82	1352,788
CV (%)		28,66	3,97	4,57	25,91	15,56	10,72

** e ^{ns}: significativo a 1% e não pelo teste de F, respectivamente. N: doses de nitrogênio; Si: doses de Si; CV: coeficiente de variação.

Tabela 13A. Resumo da análise de variância para valores de pH da polpa, °Brix, vitamina C e acidez titulável de frutos de berinjela em função de doses de N via radicular e Si via foliar.

Fonte de variação	Quadrados médios				
	GL	pH da polpa	°Brix	Vitamina C	Acidez titulável
N	4	0,182*	2,55**	0,048 ^{ns}	0,005**
Si	1	0,005 ^{ns}	3,2**	0,004 ^{ns}	0,004**
N x Si	4	0,027 ^{ns}	2,65**	0,1245**	0,002**
Resíduo	20	0,056	0,14	0,022	0,0002
CV (%)		4,37	9,61	13,98	6,61

** e ^{ns}: significativo a 1% e não pelo teste de F, respectivamente. N: doses de nitrogênio; Si: doses de Si; CV: coeficiente de variação.