



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA

CRESCIMENTO DA RÚCULA SOB DOSES DE NITROGÊNIO ASSOSIADAS A
EXTRATO DE NIM (*Azadirachta indica*) COMO INIBIDOR DE NITRIFICAÇÃO

RAFAEL GUIMARÃES VERIATO

DIGITALIZAÇÃO
SISTEMOTECA - UFCG

POMBAL – PB
MARÇO DE 2016

RAFAEL GUIMARÃES VERIATO

**CRESCIMENTO DA RÚCULA SOB DOSES DE NITROGÊNIO ASSOCIADAS A
EXTRATO DE NIM (*Azadirachta indica*) COMO INIBIDOR DE NITRIFICAÇÃO**

Monografia apresentada à Universidade
Federal de Campina Grande, Campus de
Pombal/PB para a obtenção do Grau de
Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Josinaldo Lopes Araújo Rocha

POMBAL – PB
MARÇO DE 2016

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

V516c Veriato, Rafael Guimarães.
Crescimento da rúcula sob doses de nitrogênio associadas a extrato de nim (*Azadirachta indica*) como inibidor de nitrificação / Rafael Guimarães Veriato. – Pombal, 2016.
30 f. : il. color.

Monografia (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2016.
"Orientação: Prof. Josinaldo Lopes Araújo Rocha".
Referências.

1. Fertilizantes Nitrogenados - Rúcula.
 2. Amônio – Adubo.
 3. Absorção de Nitrogênio.
 4. Nitrato.
 5. Nutrição Nitrogenada - Rúcula.
- I. Rocha, Josinaldo Lopes Araújo. II. Título.

CDU 631.84:635.4(043)

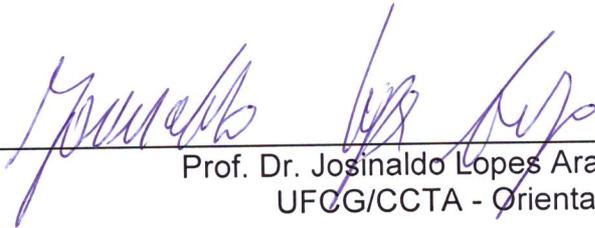
TERMO DE APROVAÇÃO

RAFAEL GUIMARÃES VERIATO

CRESCIMENTO DA RÚCULA SOB DOSES DE NITROGÊNIO
ASSOCIADAS A EXTRATO DE NIM (*Azadirachta indica*) COMO
INIBIDOR DE NITRIFICAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Campina Grande, defendido perante a banca abaixo subscrita.

Aprovado em: 18/03/2016



Prof. Dr. Josinaldo Lopes Araújo Rocha
UFCG/CCTA - Orientador



Profª Dra. Adriana Silva Lima
UFCG/CCTA – Avaliador



Prof. Dr. Anielson dos Santos Souza
UFCG/CCTA – Avaliador

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, Pedro Veriato Ventura e Maria Ivaldete Guimarães Veriato que sempre me apoiaram e incentivaram na busca por meus objetivos. Ao meu irmão Gabriel Guimarães Veriato e minha irmã Nathalia Guimarães Veriato por sempre me apoiarem e acreditarem no meu potencial. A minha namorada Ana Amélia Barros pelo apoio incondicional e por está presente na realização deste sonho. Dedico também a todos os colegas e professores que ao longo do curso contribuíram para minha formação acadêmica, em especial ao meu professor e orientador Josinaldo Lopes Araújo Rocha.

A todos minha sincera dedicação!

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por estar sempre guiando meus passos, permitindo-me realizar mais um sonho.

A toda minha família, em especial meu pai *Pedro Veriato Ventura* e minha mãe *Maria Ivaldete Guimarães Veriato* por me instruírem a trilhar os melhores caminhos ao longo da vida, pelo amor incondicional e compreensão em todos os momentos.

A minha namorada Ana Amélia Barros, por sempre me incentivar a não desanimar nos momentos mais difíceis ao longo da jornada acadêmica; pela compreensão e paciência durante a realização deste trabalho.

Em especial, agradeço a meu orientador Josinaldo Lopes de Araújo Rocha, pela paciência e dedicação em sanar minhas dúvidas sempre que necessário e pelos conhecimentos passados durante anos de orientação.

Ao laboratorista Francisco Alves da Silva, pela contribuição na realização das análises de laboratório.

A Universidade Federal de Campina Grande e ao Centro de Ciências e Tecnologia agroalimentar pela infraestrutura.

A todos os colegas de curso, aos quais tive o privilégio de dividir bons momentos e compartilhar experiências ímpares.

As colegas de trabalho Maria Luiza Guimarães e Kariolania Fortunato de Paiva, por terem me auxiliado durante a pesquisa.

LISTA DE FIGURAS

		Pág
FIGURA 1	Esquema de obtenção dos extratos alcoólicos e preparo do fertilizante com inibidor da nitrificação	10
FIGURA 2	Teores de amônio (A e B), nitrato (C e D), N-mineral (E e F) e relação amônio/nitrato (G e H) no solo em função dos períodos de incubação e aplicação de extratos de nim com doses de ureia. EF= ureia + extrato de folhas; ES = ureia + extrato de sementes; F = ureia + folhas secas; U= ureia.....	13
FIGURA 3	Teores de amônio (A) e de nitrato (B) no solo na média dos quatros períodos de avaliação (7, 14, 21 e 28 dias após a incubação) na dose 320 mg dm ³	14
FIGURA 4	Produção de matéria seca da parte aérea (A), Produção de matéria seca das raízes (B), Produção de matéria seca total (C) e razão raiz/parte aérea (D) função de doses de nitrogênio e de tratamentos à base de nim (Azadirachta indica).....	15
FIGURA 5	Teor (A) e acúmulo de N-total (B) e teor (C) e acúmulo (D) de amônio (N-NH ₄ ⁺) da rúcula em função dos tratamentos de inibição da nitrificação.....	17
FIGURA 6	Teor de nitrato em função das doses de nitrogênio.	19
FIGURA 7	Acúmulo de nitrato em função das doses de nitrogênio	20

APÊNDICE

	Pág
Tabela 1A Resumos das análises de variância para valores da massa seca da parte aérea (MSPA), de raízes (MSR), total (MST) e razão raiz/ parte aérea (RRPA) de plantas de rúcula em função de doses de N e tratamentos de inibição da nitrificação.....	28
Tabela 2A Resumos das análises de variância para valores de N-total, acúmulo de nitrogênio nas folhas, teor de amônia (NH_4^+) e o acúmulo de amônia pelas folhas em plantas de rúcula em função de doses de N e tratamentos de inibição da nitrificação.....	28
Tabela 3A Resumos das análises de variância para valores de teor de nitrato (NO_3^-) e acúmulo de nitrato (NO_3^-) para plantas de rúcula em função de doses de N e tratamentos de inibição da nitrificação.....	28

SUMÁRIO

	Pág
RESUMO.....	ix
ABSTRACT.....	x
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA.....	3
2.1 Dinâmica do nitrogênio no solo.....	3
2.2 Nitrogênio nas plantas.....	4
2.3 Inibidores da nitrificação.....	6
2.4 Cultura da rúcula.....	8
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	9
3.1 Localização e instalação dos experimentos.....	9
3.2 Experimento 1: Efeito dos produtos à base de nim sobre a nitrificação.....	9
3.3 Experimento 2: Efeito de doses de nitrogênio e de produtos à base de nim sobre o crescimento e nutrição nitrogenada da rúcula.....	10
3.4 Análise estatística.....	11
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	12
4.1 Experimento 1.....	12
4.2 Experimento 2.....	15
5. CONCLUSÕES	21
6. REFERÊNCIAS	22
APÊNDICE.....	28

RESUMO

O nitrogênio (N) é o nutriente mais aplicado na agricultura na forma de fertilizantes minerais e é o que apresenta menor eficiência, devido suas perdas por diversos processos. O extrato de nim surge como um alternativa para retardar e, ou inibir a nitrificação, reduzindo as perdas do nitrato por lixiviação. Dois experimentos foram instalados com o objetivo de avaliar o efeito de extratos de nim e doses de N sobre a nitrificação e sobre o crescimento e a nutrição nitrogenada da rúcula. No primeiro experimento, foram testados quatro tratamentos referentes a inibição da nitrificação com produtos à base de nim (ureia apenas; ureia + mais extrato de semente de nim; ureia + extrato de folhas de nim; folhas secas de nim aplicadas no solo) e duas doses de nitrogênio (0 e 320 mgdm⁻³). Para avaliar o crescimento e a nutrição nitrogenada da rúcula, foram testados, em esquema fatorial, quatro tratamentos de inibição da nitrificação (ureia apenas; ureia + extrato de semente de nim; ureia + extrato de folhas de nim; ureia + folhas secas de nim aplicadas no solo) e quatro doses de N (10, 120, 220 e 320 mg dm⁻³ de N). Produtos à base de nim não inibiram o processo de mineralização ou nitrificação do N aos 28 dias de incubação. O nitrogênio fornecido na forma de ureia associada à folhas secas de nim, proporcionou menor produção total de matéria seca sob baixo suprimento de nitrogênio. O acúmulo de N-total foi superior quando o nutriente foi aplicado com folhas secas ou com extrato de semente. A resposta da cultura a adubação nitrogenada, foi dependente dos produtos à base nim adicionados a ureia como fonte de nitrogênio.

Palavras-chave: Amônio, absorção de nitrogênio, nitrato, nutrição nitrogenada

ABSTRACT

Nitrogen (N) is the main nutrient applied in agriculture as mineral fertilizers, which has lower efficiency, because their losses by various processes. The neem extract is an alternative to slow and, or inhibit nitrification, reducing losses of nitrate leaching. Two experiments were carried out with the objective of to evaluate the effect of neem extracts and N rates on nitrification and on the growth and nitrogen nutrition of *Eruca sativa*. In the first experiment, four treatments were tested regarding nitrification inhibition with neem-based products (urea only, urea + more neem seed extract, urea + extract of neem leaves; urea + dried neem leaves applied to the soil) and two nitrogen levels (0 and 320 mg dm⁻³). To assess the growth and nitrogen nutrition eggplant, a factorial scheme with four treatments nitrification inhibition (only urea, urea + more neem seed extract, urea + extract of neem leaves; urea + dried neem leaves applied to the soil) and four N rates (10, 120, 220 and 320 mg dm⁻³ of N) were tested. The neem products not clearly inhibit the both mineralization and nitrification process after 28 days of incubation. Nitrogen supplied in the form of urea associated with dry neem leaves, provided lower total dry matter production under low nitrogen supply. Total nitrogen accumulation was greater when the nutrient was applied with dry leaves or seed extract neem. The response to nitrogen fertilization of *Eruca sativa*, was dependent on the products of neem based added urea as a nitrogen source.

Keywords: Ammonium, nitrogen absorption, nitrate, nitrogen nutrition

1. INTRODUÇÃO

O nitrogênio (N) é o elemento mais utilizado na agricultura na forma de fertilizantes minerais, pois é o nutriente mais exigido pelas plantas. Assim, torna-se difícil produzir quantidade suficiente de alimentos sem o uso deste insumo na agricultura. Entretanto, a utilização de forma inadequada de N na agricultura propicia impactos negativos sobre o ambiente de forma direta ou indireta. A produção industrial de fertilizantes nitrogenados, conhecida como fixação industrial, é baseada na utilização de combustíveis fósseis não renováveis, o que os torna entre os insumos, o mais caros do sistema de produção. Este nutriente ainda apresenta uma dinâmica complexa, traduzida por grande mobilidade no solo e por suas diversas transformações nas reações químicas e biológicas, estando passível a perdas no sistema solo-planta-atmosfera.

Ao ser aplicado ao solo na forma de fertilizantes minerais e, ou orgânicos, o N está sujeito a diversos processos como mineralização, nitrificação, lixiviação, imobilização e desnitrificação. O processo de nitrificação é responsável pela geração de nitrato (NO_3^-) no solo, por intermédio de bactérias nitrificadoras, que é a forma de N-mineral predominante em solos aerados. Em solos ácidos ou sob anaerobiose, a forma de N mineral predominante é o amônio (NH_4^+). Em condição de solos jovens, as perdas de N na forma de NO_3^- tende a ser maior que em solos mais intemperizados, tendo em vista que os primeiros apresentam maior densidade de cargas negativas, desfavorecendo a adsorção deste ânion no solo, o que contribui para aumentar a concentração de nitrato na solução do solo, ocasionando perdas por lixiviação.

Uma das formas de se evitar ou diminuir as perdas de N por lixiviação é retardar ou diminuir a geração de NO_3^- , inibindo-se o processo de nitrificação. Há no mercado muitos produtos sintéticos que agem de forma eficaz como inibidores da nitrificação, como a nitrapirina, a dicianodiamida (DCD), e o mais recente 3,4-dimetilpirazole-fosfato (DMPP) (XU, et al., 2005; CANTARELLA, 2007; McGEOUGH et al., 2012). Contudo, estes produtos apresentam custo elevado, o que inviabiliza em muitos casos sua utilização. Na busca de produtos alternativos com potencial de inibição da nitrificação, algumas pesquisas foram realizadas com extratos de plantas misturadas ao fertilizante mineral (ureia principalmente). Dentre as espécies testadas

o nim (*Azadirachta indica*) foi a mais promissora, pois na maioria dos trabalhos realizados (SANTHI et al., 1986; JOSEPH; PRASAD, 1993; MAJUMDAR, 2008; MAJUNDAR et al., 2002; MOHANTY et al., 2008; SIVASAKHY; GNANAVELRAHAH, 2010, 2012)., observou-se inibição significativa da nitrificação com o uso de extratos de folhas secas ou de sementes trituradas, embora em alguns casos, o inibidor sintético DCD, tenha sido mais eficiente.

A rúcula (*Eruca sativa* L.) é uma hortaliça pertencente à família Brassicaceae, cujas folhas são consumidas especialmente em saladas, conservando suas propriedades nutritivas, sendo rica em vitamina C, potássio, ferro e enxofre, apresenta ainda propriedades antiinflamatórias e desintoxicante para o organismo. Dentre as hortaliças, a cultura destaca-se entre as folhosas mais consumidas na região Sudeste, onde se concentra 85% da produção do país (FILGUEIRA, 2008). Do ponto de vista nutricional, a adubação nitrogenada está diretamente ligada a capacidade da planta em desenvolver-se e realizar os seus processos fisiológicos. No presente trabalho objetivou-se avaliar o efeito do extrato de nim sobre a nitrificação e seu efeito associado a doses de N no crescimento, produção e nutrição nitrogenada da rúcula.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Dinâmica do nitrogênio no solo

No Brasil a quantidade de fertilizantes nitrogenados aplicados ao solo perde apenas para os fertilizantes fosfatados (NOVAIS et al., 2007). Os fertilizantes nitrogenados são produzidos principalmente a partir de combustíveis fósseis não renováveis, fato que torna o N geralmente o elemento mais caro no sistema de produção da cultura (MARCELINO, 2009).

No solo o nitrogênio pode ser encontrado na forma de nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-), amônio (NH_4^+) e formas orgânicas, que podem corresponder até 98% do nitrogênio total no solo (FURTINI NETO et al., 2001; CANTARELLA, 2007). O nitrato é a forma mineral de nitrogênio predominante nos solos sem restrição de oxigênio, sendo gerado pelo processo de nitrificação. A nitrificação corresponde a oxidação biológica do amônio gerado pela mineralização da matéria orgânica, do solo, ou proveniente de fertilizantes amídicos ou amoniacais. O processo ocorre em duas fases, sendo que na primeira ocorre a formação de nitrito por ação das bactérias do gênero *Nitrosomonas*. Já na segunda fase, o NO_2^- é convertido a NO_3^- por bactérias do gênero *Nitrobacter* (TISDALE et al., 1985).

Em solos jovens como é a maioria dos solos do semiárido, devido ao predomínio de cargas negativas na camada arável, a sua adsorção eletrostática é insignificante. Desta forma, o nitrato permanece na solução do solo, o que favorece sua lixiviação no perfil para profundidades inexploradas pelas raízes. Sob condições de solo saturado, o nitrato pode sofrer desnitrificação então voltar para a atmosfera na forma de N_2O e NO (CERETTA; FRIES, 1997).

A lixiviação de nitrato é uma das principais formas de perdas do N disponível às plantas (ERREBHI et al., 1998), sendo influenciada diretamente pelos fatores que determinam o fluxo de água no solo e pela concentração de NO_3^- na solução (WHITE, 1987). Fatores como sistema de preparo do solo, tipo de solo e forma de aplicação e doses dos fertilizantes nitrogenados, podem influenciar a concentração de nitrato na solução do solo e assim nas perdas de nitrogênio.

O excesso de nitrato na solução do solo tem trazido preocupações sob dois aspectos: primeiro pela contaminação de águas subterrâneas e dos mananciais e, segundo, porque pode elevar as emissões de formas de N (NO , N_2O) nocivas ao

meio ambiente através na desnitrificação, em ambientes com baixa disponibilidade de oxigênio. É importante destacar que, a volatilização do N-ureia na forma de NH_3 constitui-se também numa importante forma de perdas de N do solo, especialmente sob condições de pH elevado ou sob condições de elevadas temperaturas (MCGEOUGH et al., 2012).

2.2 Nitrogênio nas plantas

O nitrogênio (N) é o nutriente de grande demanda metabólica e o que mais frequentemente limita o crescimento vegetal (MALAVOLTA, 2006; EPSTEIN; BLOOM, 2006). Os tecidos vegetais apresentam, de maneira geral, teores de N que variam de 20 a 50 g kg^{-1} da matéria seca (FAQUIN, 2005), podendo variar dependendo da espécie, do estágio de desenvolvimento e do órgão analisado (MARSCHNER, 2012). O nitrogênio nas plantas superiores atua como componente estrutural de macromoléculas e constituinte de enzimas, aminoácidos, proteínas, ácidos nucléicos e clorofilas (TAIZ; ZEIGER, 2006; FAQUIN, 2005). Segundo Barker e Bryson (2004), a maior porção do nitrogênio nas plantas está na forma de proteínas, que correspondem a 85% do N total nas plantas, outras formas como ácidos nucléicos (DNA e RNA) correspondem a 5%, e de 5 a 10% do N total como outras formas de baixo peso molecular; o restante é composto por formas inorgânicas como amônio e nitrato.

As plantas podem absorver o N na forma de amônio e, ou nitrato, dependendo das condições do solo. Em solos aerados, o N-NO_3^- geralmente é a principal forma de N absorvida. De acordo com Fernandes e Souza (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 que ocorra a troca por outro íon de mesma carga. Enquanto o sistema de transporte para íons NO_3^- é do tipo ativo simporte, contra um gradiente de potencial eletroquímico, neste caso, dois íons H^+ entram simultaneamente, o que fornece a energia necessária para o influxo de NO_3^- .

Quando absorvido na forma de nitrato, o N deve ser reduzido para amônio para assim ser incorporado em compostos orgânicos. Nesta 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 (EPSTEIN; BLOOM, 2006). O amônio gerado é rapidamente convertido em aminoácidos, devido sua capacidade de despolarização da membrana plasmática. Esta conversão inicia-se com a ação das enzimas glutamina sintetase e da glutamato sintase, combinando glutamato com amônio, formando uma amida, a glutamina. Após a conversão do amônio em glutamina ocorrem reações de transaminação, incorporando o N em outros aminoácidos (TAIZ; ZEIGER, 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. Desta forma o $N-NO_3^-$ e os aminoácidos são as principais formas de transporte de N no xilema de plantas superiores (FAQUIN, 2005).

O acúmulo de nitrato em plantas (especialmente nas folhosas), acontece quando há o desequilíbrio entre a absorção e assimilação desse íon pela planta, porém essas quantidades em excesso são armazenadas nos vacúolos (MARSCHNER, 1995).

A deficiência de nitrogênio resulta em um crescimento lento com folhas cloróticas causadas pela baixa assimilação que ocasiona um florescimento prematuro e o encurtamento do ciclo da planta. Porém em excesso, o N promove o desenvolvimento da parte aérea com folhas verde escuras devido a alto teor de clorofila nos tecidos e pouco crescimento radicular, além de reduzir a resistência da planta à condições adversas como pragas e doenças (TAIZ; ZAIGER, 2006).

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. Conseqüentemente, 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 nestas condições e a distribuição de aminoácidos resultam no colapso dos cloroplastos e

assim ocorre um decréscimo no conteúdo de clorofila. Por esta razão, o amarelecimento das folhas velhas é o primeiro sintoma de uma inadequada nutrição da planta em nitrogênio (FAQUIN, 2002; EPSTEIN; BLOOM, 2006).

2.3 Inibidores da nitrificação

Uma das formas de minimizar as perdas de N e os impactos ambientais e econômicos associados é o emprego de estratégias ou produtos que impeçam ou diminuam o processo de nitrificação do N aplicado na forma de fertilizantes. Neste sentido, há no mercado alguns produtos sintéticos conhecidos como inibidores da nitrificação. Estes produtos têm sido empregados para retardar a nitrificação e minimizar os possíveis impactos negativos decorrentes do excesso de nitrato no solo.

Os inibidores têm por objetivo retardar a formação de NO_3^- no solo mediante interferência na atividade das bactérias do gênero *Nitrosomonas*, responsáveis pela oxidação do NH_4^+ a nitrito (NO_2^-), que corresponde à primeira fase da nitrificação (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Esses compostos ocupam os sítios ativos da monoxigenase, que é um amplo substrato para a oxidação catalítica. Conforme o produto resultante dessa ligação denomina-se o mecanismo base de inibição. A estabilidade dessa ligação confere a habilidade dos compostos em retardar o processo de nitrificação. O teor de matéria orgânica, a temperatura, o valor pH e a umidade do solo influem diretamente na eficiência dos inibidores, devido a estes fatores estarem intimamente ligados ao processo de nitrificação (SAHRAWAT, 1980; 2008; MCARTY, 1999).

Existem vários compostos patenteados como inibidores de nitrificação, porém poucos demonstraram eficiência agrônômica e econômica simultaneamente. Há uma série de inibidores sintéticos comercializados em todo o mundo (MAJUMDAR, 2008). Entretanto, no Brasil os principais inibidores comercializados são a nitrapirina ou N-serve [2-cloro-6-(tricolorometil) piridina], a dicianodiamida (DCD) e o mais recente 3,4-dimetilpirazole-fosfato (DMPP) desenvolvido na Alemanha, o qual também tem se mostrado eficiente (XU, et al., 2005; CANTARELLA, 2007; McGEOUGH et al., 2012).

Na busca de alternativas a estes produtos, alguns trabalhos foram realizados em outros países testando extratos, pós de folhas ou de sementes de algumas

espécies vegetais visando retardar ou reduzir a quantidade de nitrogênio nitrificado no solo (SANTHI et al., 1986; JOSEPH; PRASAD, 1993; MAJUMDAR, 2008; MAJUNDAR et al., 2002; MOHANTY et al., 2008; SIVASAKHY; GNANAVELRAHAH, 2010, 2012).

Dentre as espécies estudadas, o nim (*Azadirachta indica*) foi a que apresentou o melhor desempenho. É uma espécie nativa da Índia e Myanmar (antiga Burma), onde cresce em florestas de regiões tropicais e subtropicais. Nessas regiões o nim se apresenta como árvore de crescimento rápido e perenifólia (MAITHANI et al., 2011). Um dos produtos mais explorados da espécie é o óleo que é rico em azadiractina, um dos compostos bioativos que agem na inibição da atividade de diversos microrganismos fitopatogênicos e também do solo.

Em condições de laboratório, Santhi et al. (1986) avaliaram o efeito da adição de extratos de folhas secas, folhas frescas e extrato de sementes moídas de nim misturadas a soluções de ureia, sobre a população de bactérias nitrificadoras e observaram que todos os produtos à base de nim testados foram eficientes em diminuir a população destes organismos, principalmente o extrato de folhas secas. A azadiractina (um limonóide, metabólito secundário) presente no nim é o composto bioativo que age inibindo o crescimento dos microrganismos por impedir a obtenção de alimento (MOHANTY et al., 2008; PAIVA, 2016).

Joseph e Prasad (1993) avaliaram o efeito de dicianodiamida (DCD) e de torta de nim misturados a ureia em condições de campo na Índia no cultivo do trigo. Os autores observaram que ambos os produtos foram eficientes em diminuir a produção de NO_3^- no solo, mas a adição DCD na ureia foi mais eficiente que a adição de torta de nim. No norte da Índia, Majumdar et al. (2002) avaliaram o efeito de inibidores da nitrificação sobre as emissões de óxido nitroso e concluíram que o DCD contribuiu significativamente para reduzir as emissões de N_2O , entretanto, a utilização de inibidor à base de nim não produziu o mesmo efeito. Mohanty et al. (2008) estudaram o efeito de pós de sementes de nim na atividade da urease e da nitrificação em diferentes solos sob diferentes umidades e temperaturas. Os autores observaram que o inibidor à base de nim não inibiu a atividade da urease, mas reduziu significativamente o processo de nitrificação. Mais recentemente, Sivasakhy e Gnanavelrahaah (2012) realizaram um trabalho semelhante em condições de campo e concluíram que pó de folhas de nim, quando misturados com ureia, ou

quando aplicado com esterco, como fonte de N, apresenta potencial de reduzir a lixiviação de nitrato do solo.

Embora alguns autores tenham mostrado a eficiência de produtos à base de nim como inibidores da nitrificação, raramente foi testado este efeito sobre o aproveitamento do N aplicado e, ou crescimento vegetal.

2.4 Cultura da rúcula

A rúcula (*Eruca sativa* L.) é uma hortaliça da família Brassicaceae, cujas folhas são consumidas especialmente em saladas, conservando todas as propriedades nutritivas, sendo rica em vitamina C, potássio, ferro e enxofre, apresenta ainda propriedades antiinflamatórias e desintoxicante para o organismo (MEDEIROS et al., 2007). Suas folhas são relativamente espessas e recortadas, podem ter bordas lisas, variando até ficarem recortadas, de coloração verde, com nervuras (SALA et al., 2004).

Sendo ainda uma cultura de ciclo curto, cresce sob temperaturas amenas, florescendo em dias longos e com altas temperaturas (MORALES; JANICK, 2002).

Segundo Setubal e Silva (1992), a produção das hortaliças depende da ação conjunta de fatores genéticos, ambientais e nutricionais. Nos últimos anos, a cultura vem apresentando crescimento, tanto na produção como no consumo. De acordo com Filgueira (2008) a área estimada de cultivo no Brasil de rúcula é de 6.000 ha ano⁻¹, com 85% da produção nacional concentrada na região Sudeste, e com produtividade muito variável em função do manejo e clima (COSTA et al., 2011). Nos últimos anos a rúcula vem ganhando espaço no cenário de folhosas, esse crescimento significativo na produção está relacionado aos preços atrativos, que vem apresentando maiores aumentos em comparação aos preços de outras folhosas (LINHARES et al., 2008; SILVA et al., 2008).

Por ser uma hortaliça folhosa, a adubação nitrogenada e o manejo são de extrema importância para o bom desenvolvimento da cultura. Dentre os nutrientes, o nitrogênio encontra-se como o segundo requerido em maior quantidade pela cultura da rúcula (GRANGEIRO et al., 2011).

Aguiar Júnior et al. (2010) recomendam a dose de 180 kg de N/ha, havendo incremento na produção, aumento da área foliar, biomassa fresca e seca com concentrações de 180, 210 e 190 kg N/ha respectivamente.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e instalação dos experimentos

Dois experimentos foram conduzidos em casa de vegetação do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar da Universidade Federal de Campina Grande (CCTA), Campus de Pombal-PB, entre o dia 1 de março a 10 de maio de 2015. Em ambos, utilizou-se amostras de um Luvissole Crômico proveniente da Fazenda Experimental do CCTA, localizada no município de São Domingos (PB) coletado a uma profundidade de 0-40cm. As amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Solos e Nutrição Mineral do CCTA/UFCG para sua caracterização física e química conforme procedimentos descritos em (Embrapa, 1997). Os resultados obtidos foram pH (CaCl₂) 6,44; H+Al: 0,25 cmol_cdm⁻³; P: 46 mg kg⁻¹; K⁺: 0,22 cmol_cdm⁻³; Na⁺: 12,08 cmol_cdm⁻³; Ca²⁺: 2,7 cmol_cdm⁻³ Mg²⁺: 4,6 cmol_cdm⁻³; SB: 26,51 cmol_cdm⁻³; V% 99,08. Areia 574 g/kg; silte 257 g/kg e argila 169 g/kg.

3.2 Experimento 1: Efeito dos produtos à base de nim sobre a mineralização e nitrificação

O experimento foi instalado em delineamento inteiramente casualizado, compreendendo quatro tratamentos referentes à inibição da nitrificação: extrato de folhas (EF); extratos de sementes (ES); folhas secas (F) e ureia (U) e duas doses de nitrogênio (0 e 320 mg dm⁻³), com cinco repetições, totalizando 40 unidades experimentais, constituídas por vasos de 1,2 dm⁻³ de solo.

O preparo dos extratos (Figura 1) e sua aplicação no solo foi baseada em Santhi et al. (1986), visando a obtenção de um fertilizante com 30 g de matéria seca de sementes ou folhas de nim para cada 100 g de nitrogênio. As folhas e sementes de Nim foram obtidas de árvores vigorosas do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar da UFCG. Dessa forma, 28,25 g de folhas ou de sementes secas em estufa a 50°C foram adicionados em 1000 mL de álcool a 70%. O material permaneceu por 12 horas ininterruptas de agitação em agitador orbital a 180 rpm. Após este procedimento, os extratos obtidos foram filtrados e armazenados em geladeira para posteriormente ser empregado na preparação das soluções de ureia. No preparo das soluções de ureia foram tomados 100 mL de cada extrato (correspondente à 2,825 g de massa seca) nos quais foram diluídos 20,9 g de ureia

(9,4 g de N), dando uma proporção de 30% de massa seca (sementes ou folhas). Nos tratamentos de ureia sem inibidores e folhas secas de nim aplicadas ao solo, foi utilizada uma solução de ureia com a mesma concentração das demais (20,9 g/100mL). A partir destas soluções, mediante pipetagens, foram aplicadas as doses de N, em dose única por tratamento. No tratamento com a aplicação de folhas secas diretamente no solo, foi aplicada a dose de $1,0 \text{ g dm}^{-3}$.

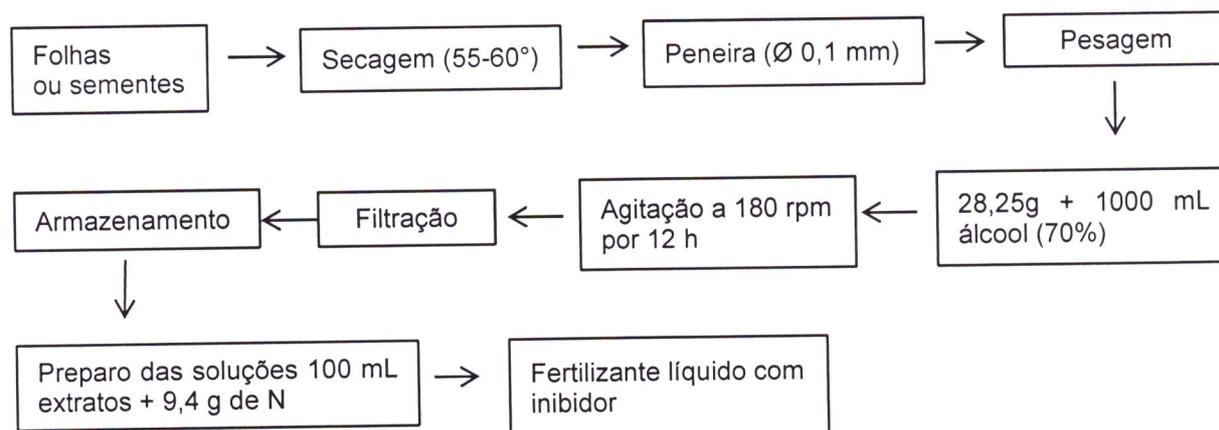


Figura 1- Esquema de obtenção dos extratos alcoólicos e preparo do fertilizante com inibidor da nitrificação.

Durante o experimento o solo foi mantido com umidade correspondente à 70% da capacidade de campo. O controle da umidade foi realizado a cada dois dias mediante pesagem, utilizando-se água destilada para repor a água perdida. Durante o experimento os vasos estavam cobertos com uma lona plástica para minimizar a evaporação. Aos 7, 14, 21 e 28 dias após a instalação do experimento foram coletados 20 g de solo de cada vaso e levados para a determinação de NH_4^+ e NO_3^- extraídos em solução KCl $1,0 \text{ mol L}^{-1}$ conforme metodologia descrita em Tedesco et al.(1985). De posse das concentrações de amônio e nitrato, foram obtidos as concentrações de nitrogênio mineral e a relação amônio/nitrato em cada período de coleta.

3.3 Experimento 2: Efeito de doses de nitrogênio e de produtos à base de nim sobre o crescimento e nutrição nitrogenada da rúcula

Os tratamentos foram constituídos por um arranjo fatorial 4×4 , compreendendo quatro tratamentos de inibição da nitrificação [ureia (U); ureia + extrato de sementes (ES); ureia + extrato de folhas (EF), folhas secas de nim

aplicadas no solo (F)] e quatro doses de nitrogênio (10, 120, 220 e 320 mg dm⁻³). Foi empregado o delineamento experimental inteiramente casualizado com três repetições, totalizando 48 unidades experimentais, consistidas de vasos de 4 dm⁻³ de solo com duas plantas.

As mudas de rúcula foram produzidas em bandejas 288 células, utilizando-se como substrato a combinação de composto orgânico e solo, semeando-se três sementes por célula. Vinte dias após a semeadura foi realizado o transplântio de duas mudas por vaso. As irrigações foram realizadas manualmente conforme a necessidade da cultura.

As doses de nitrogênio foram aplicadas na forma de ureia (45% de N), conforme os tratamentos, não foi utilizada a dose zero, tendo em vista a possibilidade das plantas não se desenvolverem e não produzirem material vegetal para análise. A adubação com macro (exceto nitrogênio) e micronutrientes foi realizada conforme recomendação de Malavolta (1980) com as seguintes doses em mg dm⁻³: P = 250; K = 300; Ca = 200; Mg = 50; S = 50; B = 0,5; Cu = 1,5; Fe = 5; Mn = 4; Mo = 0,15 e Zn = 5,0, utilizando-se fontes p.a. de alta solubilidade em água.

No ponto de colheita (quarenta dias após o transplântio), as plantas foram colhidas e separadas em raízes e folhas e levadas a estufa de secagem (60-65°C) para obtenção da matéria seca da raiz (MSR), da parte aérea (MSTA), matéria seca total (MST) e razão raiz parte aérea (RRPA). Na matéria seca das folhas foram determinados os teores de nitrogênio total (N-total) de acordo com Malavolta et al. (1997), nitrogênio amoniacal (N-NH₄⁺) como descrito em Tedesco et al. (1985).

3.4 Análise estatística

O efeito das doses de nitrogênio sobre as variáveis dependentes foi avaliado pelo teste de regressão polinomial, e o efeito dos tratamentos com inibidores da nitrificação pelo teste de Tukey, sendo ambos os testes realizados ao nível de 5% de significância.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Experimento 1

Observou que, quando não se aplicou nitrogênio ao solo, os teores de nitrogênio amoniacal (Figura 2A), nítrico (Figura 2C) e nitrogênio mineral (Figura 2E) no solo, foram inferiores àqueles observados quando aplicaram-se 320 mg N kg⁻¹ solo (Figuras 2B, 2D e 2F). Sem aplicação de nitrogênio, apenas para os teores de NO₃⁻, observou-se diferença entre os tratamentos à base de nim, em que as maiores concentrações deste ânion foram proporcionadas por extrato de sementes (ES) aos 21 dias de incubação e por folhas secas (F) e extrato de folhas (EF) aos 28 dias de incubação (Figura 2C).

Nos tratamentos onde foram aplicados 320 mg N kg⁻¹ solo, a partir dos 14 dias de incubação, a geração de amônio caiu para níveis comparáveis aos observados sem a aplicação de N ao solo e manteve-se assim até os 28 dias após a incubação (Figura 2B). Em relação aos tratamentos à base de nim, observou-se que aos sete dias após a incubação, ES e EF propiciaram uma menor geração de amônio no solo, indicando que tais tratamentos diminuíram a hidrólise da ureia. Este resultado contraria o observado por Mohanty et al. (2008), que ao aplicarem pó de semente de nim na dose de 20mg/100 mg de N-ureia ao solo, concluíram que o produto não foi eficiente em inibir a hidrólise da ureia, mas inibiu significativamente a geração de nitrato no solo.

Por outro lado, não observou-se um efeito claro destes tratamentos sobre o processo de nitrificação, pois as concentrações de NO₃⁻ foram maiores aos 14 e aos 21 dias de incubação nos tratamentos ES e F respectivamente (Figura 2D). Aos 28 dias de incubação, contudo, houve maior geração de NO₃⁻ quando o N foi aplicado sem qualquer produto (Figura 2D).

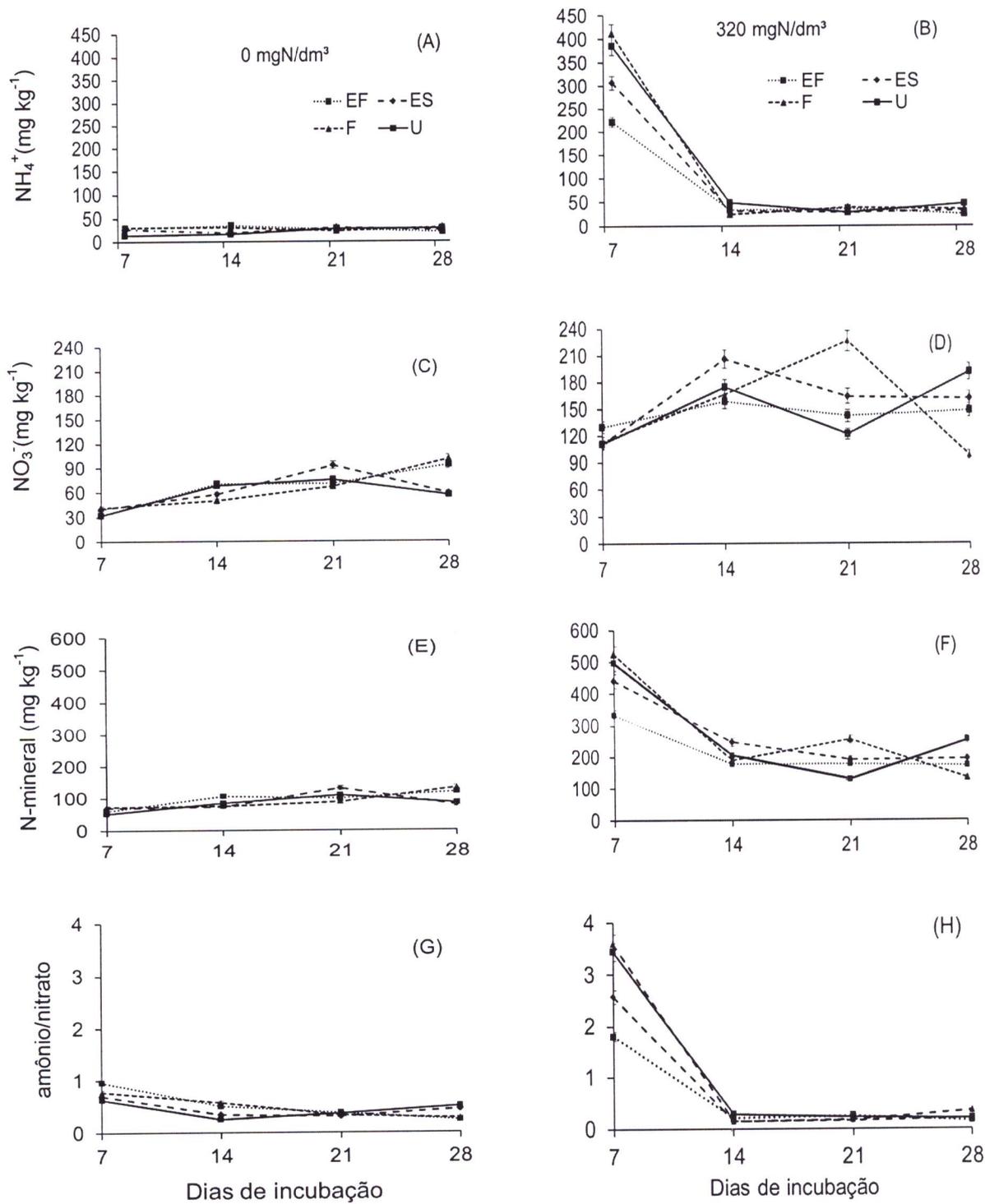


Figura 2-Teores de amônio (A e B), nitrato (C e D), N-mineral (E e F) e relação amônio/nitrato (G e H) no solo em função dos períodos de incubação e aplicação de extratos de nim com doses de ureia. EF= ureia + extrato de folhas; ES = ureia + extrato de sementes; F = ureia + folhas secas; U= ureia.

Os valores de N-mineral, que corresponde à soma das concentrações de amônio + nitrato (Figura 2F) tiveram um máximo aos sete dias de incubação nos tratamentos onde foram aplicados 320 mg de N. As perdas de N-mineral a partir do sétimo dia de incubação podem estar relacionadas à processos de volatilização e, ou imobilização (CANTARELLA, 2007). Em relação aos tratamentos à base de nim, observou-se que, assim como ocorreu para as concentrações de amônio (Figura 2B), aos 21 dias de incubação, houve maior geração de N-mineral com o tratamento F, enquanto aos 28 dias de incubação, esse efeito foi proporcionado pelo tratamento sem inibição. Quanto à relação amônio/nitrato (Figura 2H), o comportamento das curvas foram semelhantes às obtidas para as concentrações de amônio (Figura 2B), ou seja, foram menores com os tratamentos ES e EF.

Considerando a média dos períodos de avaliação após aplicação de 320 mg dm^{-3} de N combinada com tratamentos de inibição (Figura 3), observou-se que os teores de amônio (Figura 3A) foram inferiores quando o N esteve associado a extrato de folhas, seguido do tratamento extrato de sementes. Para os teores de nitrato (Figura 3B), entretanto, nenhum dos tratamentos se sobressaiu. Estes resultados indicam que os extratos de nim podem ter inibido o processo de hidrólise da ureia, mas, como já mencionado, estes extratos não foram eficientes em inibir o processo de nitrificação.

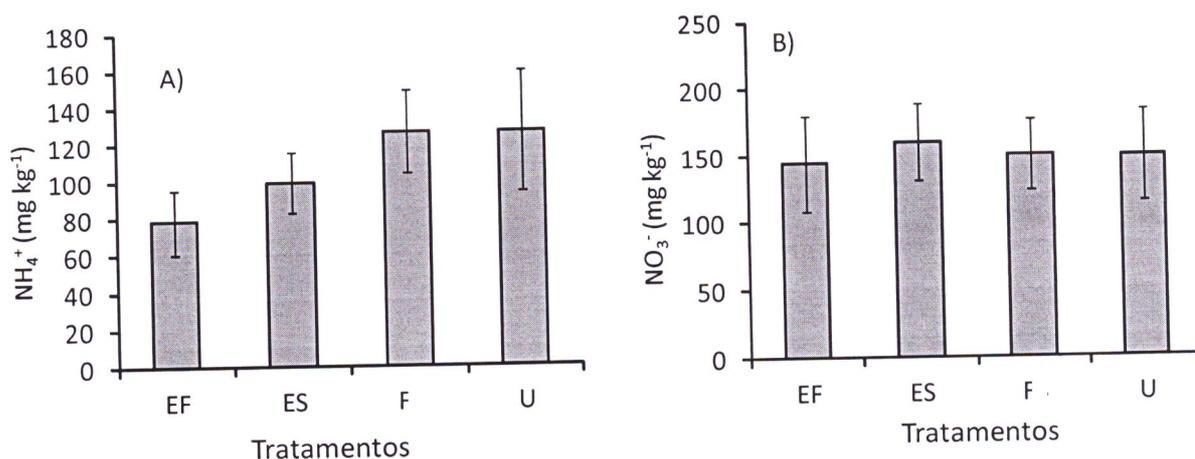


Figura 3- Teores de amônio (A) e de nitrato (B) no solo na média dos quatros períodos de avaliação (7, 14, 21 e 28 dias após a incubação) na dose 320 mg dm^{-3} .

4.2 Experimento 2

A resposta da rúcula às doses de nitrogênio, em termos de produção de matéria seca, foram dependentes dos tratamentos à base de nim (Figura 4). Embora para a maioria dos casos, o ajuste tenha sido quadrático, alguns coeficientes não foram significativos.

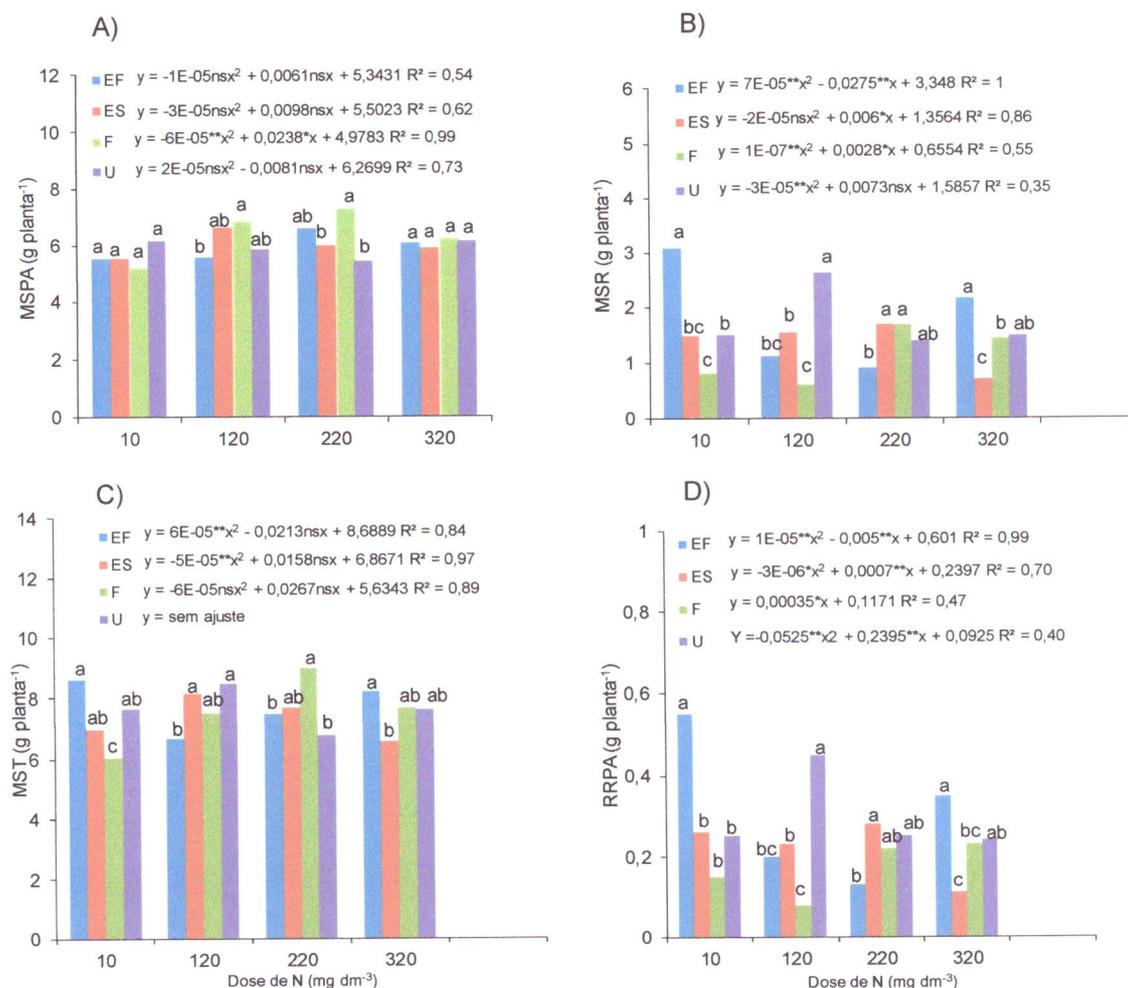


Figura 4. Produção de matéria seca da parte aérea (A), Produção de matéria seca das raízes (B), Produção de matéria seca total (C) e razão raiz/parte aérea (D) função de doses de nitrogênio e de tratamentos à base de nim (*Azadirachta indica*). EF= ureia + extrato de folhas; ES = ureia + extrato de sementes; F = ureia + folhas secas; U= ureia. Dentro de cada dose de N, médias seguidas por letras iguais, não diferem entre si (Tukey, 5%).

A produção de matéria seca da parte aérea (Figura 4A) apresentou ajuste quadrático significativo apenas quando se forneceu nitrogênio associado à folhas

secas. Para esta variável, na dose 220 mg N dm⁻³ o maior valor foi obtido com o tratamento folhas secas e extrato de folhas. Nas doses 10 e 320 mg de N, não houve diferença entre os tratamentos à base de nim. Ratke et al. (2011) observaram que a otimização da adubação nitrogenada de rúcula ocorreu por meio de ureia de liberação lenta e com inibidores da urease.

A produção de matéria seca de raízes (Figura 4B) ajustou-se ao modelo quadrático de regressão apenas nos tratamentos extrato de folhas e extrato de sementes. Nas doses extremas de N (10 e 320 mg dm⁻³) a produção de matéria seca de raízes foi superior com o tratamento extrato de folhas (Figura 4B). Nas demais doses de N, este tratamento, assim como o tratamento folhas secas na dose 120 mg N dm⁻³, resultou nos menores valores para esta variável.

Em relação a produção de matéria seca total (Figura 4C), apenas no tratamento sem aplicação de inibidor, não houve ajuste desta variável em função das doses de N aplicadas. Como observado para a matéria seca da parte aérea (Figura 4A), na dose 220 mg N dm⁻³ o fornecimento de N associado à folhas secas favoreceu o crescimento da rúcula. Entretanto, na dose 10 mg N dm⁻³ houve imobilização do N aplicado.

A relação raiz/parte aérea (Figura 4D) em termos de matéria seca, apresentou comportamento semelhante à produção de raízes (Figura 4B), ou seja, houve ajuste quadrático para regressão apenas nos tratamentos extrato de folhas e extrato de sementes. Nas doses extremas de N (10 e 320 mg dm⁻³) a produção de raízes foi superior com o tratamento extrato de folhas (Figura 4B). Tais resultados mostram que, o N-ureia fornecido de forma associada a produtos base de nim afetaram o crescimento da rúcula. Sugere-se que estudos posteriores sejam realizados para se definir a melhor proporção extrato/nitrogênio para otimização dos resultados ou definir mais claramente os efeitos destes produtos sobre o processo de nitrificação e sobre o crescimento de hortaliças.

As variáveis relativas à nutrição nitrogenada da rúcula (Figura 5) foram influenciadas pelas doses de N e pelos tratamentos relativos aos produtos à base de nim (Tabela 2A), mas não pela interação entre estes fatores. Observou-se que os teores de N total (Figura 5A), amônio (Figura 5C) e os acúmulos N-total (Figura 5B) e amônio (Figura 5D) aumentaram de forma linear com as doses de N aplicadas.

Em trabalho avaliando o efeito de doses de N sobre a produção de nutrição nitrogenada da rúcula, Steiner et al (2011) obtiveram resultados semelhantes ao deste trabalho. Da mesma forma, em trabalho de campo, Purquerio et al. (2007) observaram elevação dos teores de N com as doses de N aplicadas na cultura da rúcula.

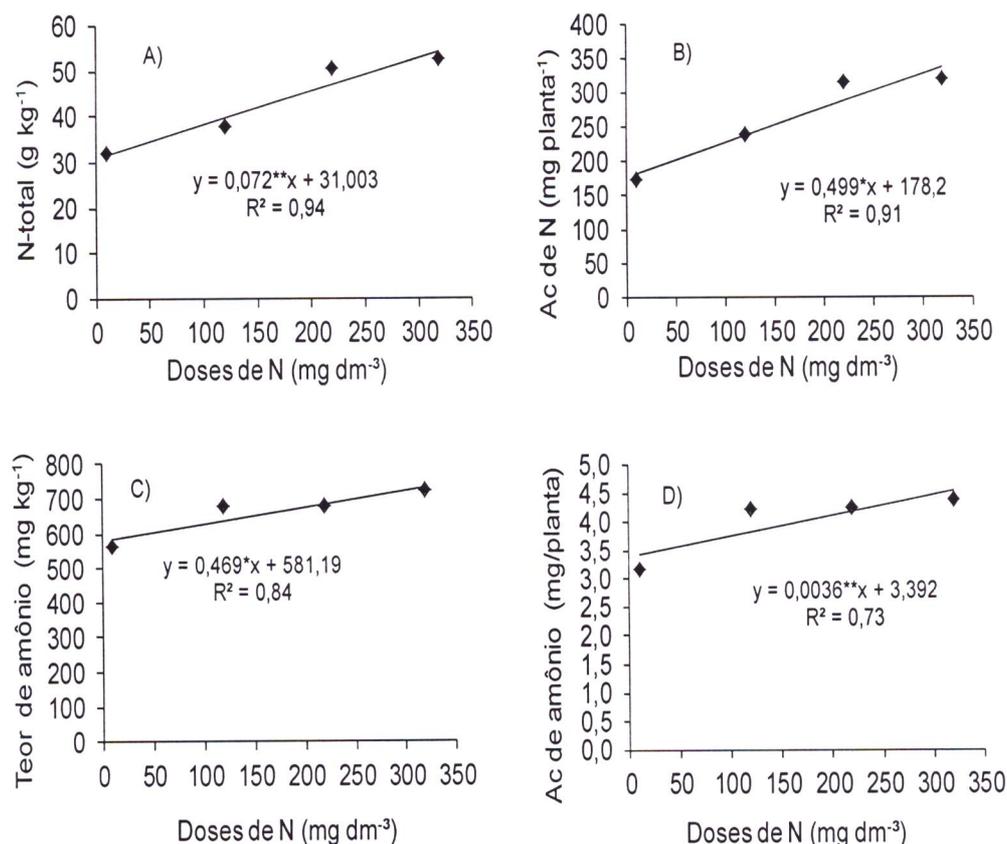


Figura 5-Teor (A) e acúmulo de N-total (B) e teor (C) e acúmulo (D) de amônio (N-NH₄⁺) da rúcula em função dos tratamentos de inibição da nitrificação. ** e *: Significativo ao nível de 1% e 5%, respectivamente, pelo teste de t.

No que se refere ao efeito dos produtos à base de nim sobre as variáveis relacionadas à nutrição nitrogenada da rúcula (Tabela 1), observou-se que o acúmulo de N-total foi afetado apenas pelos tratamentos. O maior teor foi proporcionado quando o nitrogênio foi fornecido na forma de ureia associada a folhas secas ou com extratos de sementes de nim. Contudo, este efeito não se refletiu na produção de matéria seca total da cultura (Figura 4C), nem necessariamente se relacionou com a recuperação do nitrogênio aplicado. Como já mencionado, o efeito dos produtos à base de nim sobre o processo de nitrificação e

suas implicações na nutrição nitrogenada da rúcula não ficou muito claro com os resultados obtidos no presente trabalho. Uma das dificuldades da interpretação desses efeitos é o fato do nitrogênio apresentar uma dinâmica muito complexa, que além do processo de nitrificação, pode sofrer perdas por volatilização ou pode ser adicionado ao solo pelo processo de fixação biológica, que neste caso, se ocorreu, foi por intermédio de bactérias fixadoras de N de vida livre (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Dessa forma, os efeitos desses produtos sobre o aproveitamento de N do fertilizante nitrogenado deverá ser acessado apenas com estudos posteriores mais refinados.

Tabela 1- Teores e acúmulos de nitrogênio (N) total e amoniacal (NH₄⁺) em folhas de rúcula em função dos tratamentos de inibição da nitrificação.

Tratamentos	N-total -g kg ⁻¹ -	N-NH ₄ ⁺ mgkg ⁻¹	Acúmulo de N -----mg planta ⁻¹ -----	Acúmulo de NH ₄ ⁺
U	39,2 a	732,7 a	22,72 b	4,30 a
U + ES	45,3 a	707,0 a	27,17 ab	4,27 a
U + EF	41,6 a	583,3 a	24,79 b	3,43 a
U+ F	46,6 a	616,0 a	30,09 a	3,99 a

U =ureia; ES = Ureia + Extrato de Sementes; Ureia + Extrato de Folhas; Ureia + Folhas secas.

Os teores de nitrato nos tecidos foliares da rúcula foram afetados apenas pelas doses de N (Figura 6). Observou-se elevação linear desta variável como as doses de N aplicadas, semelhante ao observado para as demais frações de N (Figura 5), com exceção do acúmulo de N (Figura 5B), cujo efeito foi quadrático. Resultado semelhante foi encontrado em trabalho avaliando a produção de rúcula e acúmulo de nitrato em função da adubação nitrogenada no qual Steiner et al (2011) concluíram que o teor de nitrato na matéria seca das folhas de rúcula aumentaram linearmente com as doses de nitrogênio (0, 40, 80, 120 e 160 mg dm⁻³), utilizando ureia. O teores encontrados variaram 3,72 a 11,72 g kg⁻¹. Outros resultados semelhantes foram observados por Faquin et al. (1994), Mantovani et al. (2005) e Cavarianni et al. (2008), os quais afirmam que o teor de nitrato na planta depende muito da sua disponibilidade no meio de cultivo.

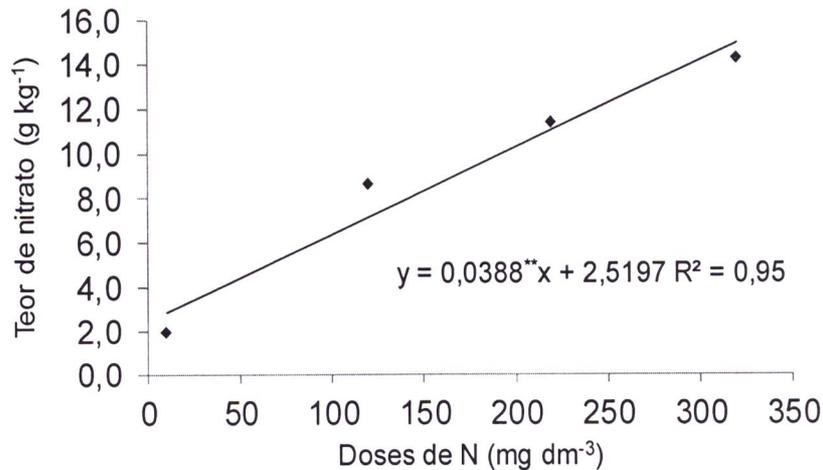


Figura 6- Teor de nitrato em função das doses de nitrogênio. EF = extrato de folhas; ES = extrato de sementes; F= Folha secas; U= ureia apenas. **Significativo ao nível de 1% pelo teste de t.

O acúmulo de nitrato nos tecidos foliares da rúcula (Figura 7) foi influenciado pelas doses de N, pelos produtos à base de nim e pela interação entre estes fatores. Os menores acúmulos de nitrato foram proporcionados pelo tratamento utilizando apenas ureia, indicando, que este tratamento pode ter promovido menor absorção de N, embora outros fatores, como a atividade da redutase do nitrato possam influenciar nos teores foliares de nitrato na planta (ARAUJO et al., 2012). Entretanto, nem sempre existe correspondência entre os teores de amônio ou nitrato no solo com os respectivos teores nos tecidos foliares. No caso do amônio, sua assimilação ocorre quase que exclusivamente nas raízes, sendo pouco transportado para as folhas (TAIZ; ZEIGER, 2006). O nitrato, por sua vez, pode ser assimilado tanto nas raízes, quanto nas folhas, dependendo da espécie vegetal (ARAUJO et al., 2012). Dessa forma, o menor acúmulo de nitrato quando o N foi fornecido na forma de ureia não indica necessariamente menor taxa de nitrificação do N, mas pode ser um reflexo da maior perda de N por volatilização, já que alguns produtos diminuíram a hidrólise da ureia, ainda que pelo um curto período.

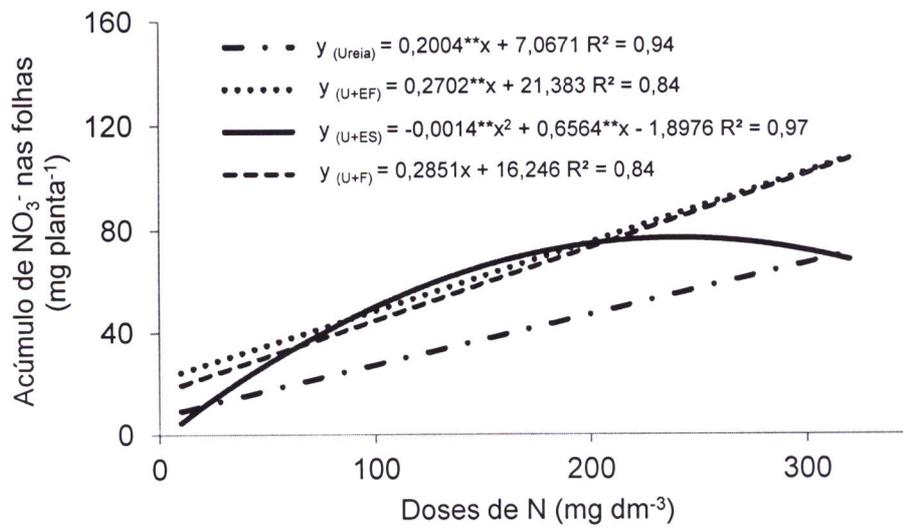


Figura 7- Acúmulo de nitrato em função das doses de nitrogênio. EF = extrato de folhas; ES = extrato de sementes; F= Folha secas; U= ureia apenas. **Significativo ao nível de 1% pelo teste de t.

5. CONCLUSÕES

Os produtos à base de nim não inibiram claramente o processo nitrificação do N-ureia aplicado ao solo, aos 28 dias de incubação.

O nitrogênio fornecido na forma de ureia associada a folhas secas de nim, proporcionou menor produção de matéria seca total sob baixo suprimento de nitrogênio.

Após sete dias de incubação, ES ou EF proporcionam uma menor geração de amônio no solo, indicando que tais tratamentos diminuíram a hidrólise da ureia.

A rúcula respondeu positivamente a adubação nitrogenada, mas a resposta foi dependente dos produtos à base nim adicionados a ureia como fonte de nitrogênio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR JUNIOR, R. A.; GUISTEM, J. M.; SILVA, A. G. P.; FIGUEIREDO, R. T.; CHAVES, A. M.; PAIVA, J. B. P.; SANTOS, F. N. Interferência de doses de nitrogênio na produção de área foliar, biomassa fresca e seca de rúcula. **Horticultura Brasileira**, v. 28, 2010.

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.

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.

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. (eds). Fertilidade do solo. Viçosa, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, p. 375-470, 2007.

CERETTA, C.A; FRIES, M.R. Adubação nitrogenada no sistema de plantio direto. In: NUERNBERG, N.J. Plantio direto: conceitos, fundamentos e práticas culturais. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Núcleo Regional Sul, 1997. Cap.7, p.111-120.

Cavarianni, R.L.; Cecílio Filho, A.B.; Cazetta, J.O.; May, A.; Corradi, M.M. Concentrações de nitrogênio na solução nutritiva e horários de colheita no teor de nitrato em rúcula. **Revista Caatinga**, v.21, n.1, p.44-49, 2008.

COSTA, C.M.F., SEABRA JUNIOR, S., ARRUDA, G.R., SOUZA, S.B.S. 2011. Desempenho de cultivares de rúcula sob telas de sombreamento e campo aberto. **Semina: Ciências Agrárias** 32:93-102.

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.; BLOOM, A. **Nutrição mineral de plantas: Princípios e Perspectivas**. Londrina: Editora Planta, 2006. 169 p.

ERREBHI, M. et al. Potato yield response and nitrate leaching as influenced by nitrogen management. **Agronomy Journal**, v.90, n.1, p.10-15, 1998.

Faquin, V.; Marques, E. S.; Santos, S. H.; Duboc, E. Crescimento e concentração de nitrato de alface, sob influência da relação $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ e cloro na solução nutritiva e horário de colheita. In: Reunião Brasileira de Fertilidade e Nutrição de Plantas, 21., 1994, Petrolina. **Anais**. Petrolina: SBCS, 1994. p.152-153.

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, M.S.; SOUZA, S.R. Absorção de nutrientes. In: FERNANDES, M.S. (Ed.). **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa-MG. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.115-152, 2006.

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

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.

GRANGEIRO, L. C.; OLIVEIRA, F.; NEGREIROS, M.; MARROCOS, S.; LUCENA, R.; OLIVEIRA, R. Crescimento e acúmulo de nutrientes em coentro e rúcula. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 6, n. 1, p.11-16, 2011.

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.

JOSEPH, P.A.; PRASAD, R. The effect of dicyandiamide and neem cake on the nitrification of urea-derived ammonium under field conditions. **Biology and Fertility of Soils** v.15, p.149-152, 1993.

LINHARES, P.C.F.; et al. Adição de jirirana ao solo no desempenho de rúcula cv. folha larga. **Caatinga**, v. 21, n. 05, p. 89-94, 2008.

MAITHANI, A.; PARCHA, V.; PANT, G.; DHULIA, I.; KUMAR, D. *Azadirachta indica* (neem) leaf: A review. **Journal of Pharmacy Research**, v.4, p.1824-1827, 2011.

MAJUMDAR, D. Inexploited botanical, nitrification inhibitors prepared from karanja plant. **Natural Product Radiance**, v. 7, p.58-67, 2008.

MAJUMDAR, D.; PATHAK, H.; KUMAR, S.; JAIN, M.C. Nitrous oxide emission from a sandy loam Inceptisol under irrigated wheat in India as influenced by different nitrification inhibitors. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 91, p. 283–293, 2002.

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

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

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.

MARCELINO, R. **Inibidor de nitrificação em fertilizantes nitrogenados e rendimento de milho**. 2009. 81f. Dissertação- (Mestrado em Agricultura tropical e Subtropical), Instituto Agronômico de Campinas, Campinas (SP).

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

MARSCHNER. P. **Mineral nutrition of higher plants**. 3ed. Australia: Academic Press, 2012. 651p.

McARTY, G W. Modes of action of nitrification inhibitors. **Biology and Fertility Soils**, New York, 29, p. 1-9, 1999.

McGEOUGH, K.L.; LAUGHLIN, R.J.; WATSON, C.J.; MULLER, C.; ERNFORS, M.; CAHALAN, E.; RICHARDS, K.G. The effect of cattle slurry in combination with

nitrate and the nitrification inhibitor dicyandiamide on in situ nitrous oxide and dinitrogen emissions. **Biogeosciences**, v.9, p.4909–4919, 2012.

MEDEIROS, M. C. L.; MEDEIROS, D. C.; LIBERALINO FILHO, J. Adubação foliar na cultura da rúcula em diferentes substratos. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 2, n. 02, p. 158-161, 2007.

MOHANTY, S.; PATRA, A.K., CHHONKAR, P.K. Neem (*Azadirachta indica*) seed kernel powder retards urease and nitrification activities in different soils at contrasting moisture and temperature regimes, **Bioresource Technol**, v.99, p.894–899, 2008.

MORALES, M.; JANICK, J. **Arugula**: a promising specialty leaf vegetable. Reprinted from: Trends in new crops and new uses. 2002.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. 2ed. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**, UFLA, 2006. 729p.

Mantovani, J.R.; Ferreira, M.E.; Cruz, M.C.P. Produção de alface e acúmulo de nitrato em função da adubação nitrogenada. **Horticultura Brasileira**, v.23, n.3, p.758 762, 2005.

NOVAIS et al. editores. **Fertilidade do solo**. Viçosa – MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017p.

PAIVA, K. F. **Extratos de nim (*azadirachta indica*) associados à doses de nitrogênio sobre o crescimento e nutrição nitrogenada da berinjela**. Monografia. Universidade Federal de Campina Grande. Pombal (PB), 2016.

PURQUERIO, L.F.V; DEMANT, L.A.R; GOTO, R.; VILLAS BOAS, R.L. Efeito da adubação nitrogenada de cobertura e do espaçamento sobre a produção de rúcula. **Horticultura Brasileira**, v.25, p.464-470, 2007.

RATKE, R. F. et al. Production and levels of foliar nitrogen in rocket salad fertilized with controlled-release nitrogen fertilizers and urea. **Horticultura Brasileira**, Vitória da Conquista, v. 29, n. 2, p. 246-249, 2011.

SALA FC; ROSSI F; FABRI EG; RONDINO E; MINAMI K; COSTA CP. 2004. Caracterização varietal de rúcula. In: **Anais do 44º CBO. Hort. Bras.**, Campo Grande, 22.

SANTHI, S.R.; PALANIAPPAN, S.P.; PURUSHOTHAMAN, D. Influence of neem leaf on nitrification in low land rice soil. **Plant Soil**, 93, p.133- 135., 1986.

SETUBAL, W. J. & SILVA, A. R. Avaliação do comportamento de alface de verão em condições de calor no município de Teresina–PI. Teresina: UFPI, 1992, 17p. (Mimeografado).

SILVA, J.K.M.; et al. Efeito da salinidade e adubos orgânicos no desenvolvimento da rúcula. **Caatinga**, v. 21, n. 05, p. 30- 35, 2008.

SIVASAKTHY, K.; GNANAVELRAJAH, N. Organic Nitrogen Sources and Nitrification Inhibitors on Leaching and Phyto-Accumulation of Nitrate and Yield of *Amaranthus polygamous*. **World Journal of Agricultural Sciences**, v. 8 p. 208-211, 2012.

SIVASAKTHY, K.; N. GNANAVELRAJAH. Effect of neem (*Azadirachta indica*) leaf on nitrification and selected properties of soil amended with different sources of nitrogen. **Journal of Science and Management**, v. 2, p. 26-32, 2010.

SAHRAWAT, k. L. Factors affecting nitrification in soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v. 39, p. 1436-1446, 2008.

SAHRAWAT, K. L. On the criteria for comparing the ability of compounds for retardation of nitrification in soil. **Plant and Soil**, Dodrecht, v. 55, p. 487-490, 1980.

STEINER, F.; PIVETTA, L.A.; CASTOLDI, G.; PIVETTA, L.G.; FIOREZE, S. Produção de rúcula e acúmulo de nitrato em função da adubação nitrogenada **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. Recife, v.6, n.2, p.230-235, 2011.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3ed. Porto Alegre: ARTMED, 2006. 722p.

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, 95 p.

TRENKEL, M.E. Improving fertilizer use efficiency: Controlled-release and stabilized fertilizers in agriculture. **Paris: International Fertilizer Industry Association**, 1997. 151p.

WHITE, R.E. Leaching. In: WILSON, J.R. **Advances in nitrogen cycling in agricultural ecosystems**. Wallingford: C.A.B. International, p.193-211, 1987.

XU, C., WU, L.H.; JU, X.T.; F.S. ZHANG. Role of nitrification inhibitor DMPP (3, 4-dimethylpyrazole phosphate) in NO_3^- -N accumulation in greengrocery (*Brassicacampestris* L. ssp. *chinensis*) and vegetable. **Journal Environmental**, v. 17, p. 81-83, 2005.

APÊNDICE

Tabela 1A. Resumos das análises de variância para valores da massa seca da parte aérea (MSPA), de raízes (MSR), total (MST) e razão raiz/ parte aérea (RRPA) de plantas de rúcula em função de doses de N e tratamentos de inibição da nitrificação.

Fonte de variação	Quadrados médios				
	GL	MSPA	MSR	MST	RRPA
N	3	1,18 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,42 ^{ns}	0,01 ^{**}
TI	3	0,74 ^{ns}	1,27 ^{**}	0,34 ^{ns}	0,05 ^{**}
N x TI	9	0,97 ^{**}	1,73 ^{**}	2,98 ^{**}	0,05 ^{**}
Resíduo	32	0,30	0,10	0,40	0,00
CV(%)		9,13	20,60	8,41	21,88

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

Tabela 2A. Resumos das análises de variância para valores de N-total, acúmulo de nitrogênio nas folhas, teor de amônia (NH₄⁺) e o acúmulo de amônia pelas folhas em plantas de rúcula em função de doses de N e tratamentos de inibição da nitrificação.

Fonte de variação	Quadrados médios				
	GL	N-total	Ac de N	Teor NH ₄ ⁺	Ac NH ₄ ⁺
N	3	11,94 ^{**}	575,80 ^{**}	55593,22 ^{ns}	3,77 ^{**}
TI	3	1,39 ^{**}	120,67 ^{**}	61211,88 ^{ns}	1,99 ^{ns}
N x TI	9	3,35 ^{**}	118,92 ^{**}	27195,0 ^{ns}	1,42 ^{ns}
Resíduo	32	0,47	20,53	27113,33	1,07
CV(%)		15,96	17,30	24,96	25,92

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

Tabela 3A. Resumos das análises de variância para valores de teor de nitrato (NO₃⁻) e acúmulo de nitrato (NO₃⁻) para plantas de rúcula em função de doses de N e tratamentos de inibição da nitrificação.

Fonte de variação	Quadrados médios		
	GL	Teor NO ₃ ⁻	Ac NO ₃ ⁻
N	3	333,80 ^{**}	13047,94 ^{**}
TI	3	32,62 ^{ns}	1728,57 ^{**}
N x TI	9	14,89 ^{ns}	712,04 ^{ns}
Resíduo	32	7,73	321,62
CV(%)		30,81	32,18

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