

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**MINERALIZAÇÃO DE NITROGÊNIO DO ESTERCO BOVINO
E PRODUÇÃO DE ALFACE EM FUNÇÃO DE N-UREIA**

**Thiago de Barros Sylvestre
Engenheiro Agrônomo**

2013

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**MINERALIZAÇÃO DE NITROGÊNIO DO ESTERCO BOVINO
E PRODUÇÃO DE ALFACE EM FUNÇÃO DE N-UREIA**

Thiago de Barros Sylvestre

Orientadora: Profa. Dra. Mara Cristina Pessôa da Cruz

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Ciência do Solo).

2013

Sylvestre, Thiago de Barros
S985m Mineralização de nitrogênio do esterco bovino e produção de
alface em função de N-ureia. / Thiago de Barros Sylvestre. – –
Jaboticabal, 2013
x, 45 p. ; 28 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias, 2013

Orientadora: Mara Cristina Pessôa da Cruz

Banca examinadora: Manoel Evaristo Ferreira, Arthur Bernardes
Cecílio Filho, José Ricardo Mantovani, Hamilton César de Oliveira
Charlo.

Bibliografia

1. Adubação nitrogenada de cobertura. 2. Adubo orgânico. 3.
Lactuca sativa. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências
Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.84:635.52

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação –
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

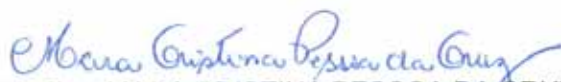
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: MINERALIZAÇÃO DE NITROGÊNIO DE ESTERCO BOVINO E PRODUÇÃO DE ALFACE EM FUNÇÃO DE N-UREIA

AUTOR: THIAGO DE BARROS SYLVESTRE

ORIENTADORA: Profa. Dra. MARA CRISTINA PESSOA DA CRUZ

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTOR EM AGRONOMIA (CIÊNCIA DO SOLO) , pela Comissão Examinadora:



Profa. Dra. MARA CRISTINA PESSOA DA CRUZ

Departamento de Solos e Adubos / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal



Prof. Dr. MANOEL EVARISTO FERREIRA

Departamento de Solos e Adubos / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal



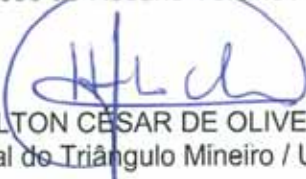
Prof. Dr. ARTHUR BERNARDES CECILIO FILHO

Departamento de Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal



Prof. Dr. JOSÉ RICARDO MANTOVANI

Universidade José do Rosário Vellano / Alfenas/MG



Prof. Dr. HAMILTON CESAR DE OLIVEIRA CHARLO

Instituto Federal do Triângulo Mineiro / Uberaba/MG

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

THIAGO DE BARROS SYLVESTRE - nascido em 7 de maio de 1986, na cidade de Taquaritinga - SP, graduou-se em Engenharia Agrônômica em dezembro de 2007, pelo Instituto Taquaritinguense de Ensino Superior. Em março de 2008, iniciou o curso de Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Ciência do Solo), na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Câmpus de Jaboticabal, período em que foi bolsista da FAPESP. Em março de 2010, iniciou o curso de Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Ciência do Solo), na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Câmpus de Jaboticabal, período em que foi bolsista da CAPES. Durante o doutorado publicou três artigos científicos.

*“Abençoados os que possuem amigos,
os que os têm sem pedir.
Porque amigo não se pede,
não se compra, nem se vende,
amigo a gente sente!”.*

Machado de Assis

Aos meus amados pais,

Nelson Sylvestre Junior e Ana Paula Milanezi de Barros Sylvestre

Ao meu querido irmão,

Matheus de Barros Sylvestre

À minha namorada

Savanna Kelly Alves Nogueira

DEDICO, por serem as pessoas mais importantes da minha vida e por estarem ao meu lado em todos os momentos. Se cheguei até aqui, muito devo a vocês e isso eu jamais esquecerei...

À família Pessôa da Cruz,

Sr. Rubens Pessôa da Cruz (in memorian), Sra. Amélia Mazza Pessôa da Cruz e Profa. Dra. Mara Cristina Pessôa da Cruz

Por demonstrarem de maneira tão clara o sentido da palavra amizade e por serem verdadeiros exemplos de como pessoas de bem devem se comportar...

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

A Deus e à Nossa Senhora de Aparecida, por tudo que representam para minha fé.

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, da Universidade Estadual Paulista, por toda a oportunidade de aprendizado e crescimento profissional.

À CAPES, pela bolsa de estudo concedida, que possibilitou a manutenção e dedicação integral ao curso de doutorado.

À toda minha família por sempre me incentivar e nunca me deixar desistir dos meus objetivos.

Aos Professores Manoel Evaristo Ferreira e Mara Cristina Pessôa da Cruz, pelos muitos ensinamentos, como seres humanos e como profissionais, mas sobretudo pelo bom convívio no dia a dia do laboratório.

À técnica Selma Guimarães Figueiredo, por toda a dedicação que demonstra diariamente na rotina do Laboratório de Fertilidade do Solo, conciliando de forma perfeita o profissionalismo e a amizade com os alunos.

Aos agrônomos Felipe Batistella Filho, Juan Gabriel Cristhoffer Lopes Ruiz, Fernando Kuhnen, Bruno Boscov Braos e Lucas Boscov Braos, por todo o apoio que deram ao longo de todo o curso de doutorado e por se constituírem em verdadeiros amigos.

Aos amigos do Laboratório de Fertilidade do Solo, em especial a Kelly, Gilberto, Jacqueline, Marina, Cássia, Aline, Carlos, Adriana, Thiago, Ana Flávia, Jose Mary, Daily, Isabella, Rangel, Caio, Aluísio, Samira, Rita, Leonardo, Renato e Milaine, por tornarem esta etapa bem mais agradável.

Aos amigos de república: Paulo Roberto Pala Martinelli, Rafael Gonçalves Peluco, Daniel Tannus e Lucas Gaion, pela amizade fortalecida ao longo do tempo.

Aos muitos amigos e amigas que ganhei ao longo destes anos, em especial ao Paulo Silva, Elcides Silva, Anderson Silva, Gustavo Claudiano, Paulo Marcusso, Anildo Caldas, João Rafael, Jacob Netto, Eduardo Souza (*in memoriam*), Lázaro da Silva, Rubens Libório, Mauro Volpe, Gilberto, Eliana Nito, Plínio Casemiro e tantos outros.

Aos meus amigos de Taquaritinga, que mesmo após tantos anos se mantiveram firmes na amizade e no apoio.

A todos aqueles que, de alguma maneira, contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	ix
SUMMARY	x
CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS	1
1.1 Referências	7
CAPÍTULO 2 – MINERALIZAÇÃO DE NITROGÊNIO DE ESTERCO BOVINO EM LABORATÓRIO E EM CAMPO.....	12
2.1 Introdução.....	14
2.2 Material e Métodos	15
2.2.1 Características do solo e do esterco bovino	15
2.2.2 Determinação da mineralização de N do esterco bovino em laboratório	16
2.2.3 Determinação da mineralização de N do esterco bovino em campo..	17
2.2.4 Determinação do N absorvido por plantas de alface	18
2.2.5 Forma de análises dos resultados	19
2.3 Resultados e Discussão	20
2.4 Conclusões	27
2.5 Referências	27
CAPÍTULO 3 – PRODUÇÃO DE ALFACE E ACÚMULO DE NITRATO EM FUNÇÃO DE DOSES DE N NO PLANTIO E EM COBERTURA	31
3.1 Introdução	33
3.2 Material e Métodos	34
3.3 Resultados e Discussão	36
3.4 Conclusões	41
3.5 Referências	41

MINERALIZAÇÃO DE NITROGÊNIO DO ESTERCO BOVINO E PRODUÇÃO DE ALFACE EM FUNÇÃO DE N-UREIA

RESUMO – Foram conduzidos quatro experimentos, um no laboratório e três no campo, com os objetivos de: comparar métodos de determinação da mineralização de N de esterco bovino em laboratório e em campo; avaliar a produtividade de alface e o acúmulo de nitrato nas plantas, em função de doses de N-ureia no plantio e em cobertura. O solo utilizado no experimento em laboratório foi coletado no local dos experimentos em campo e é um Latossolo Vermelho. No ensaio em laboratório foi feita incubação de solo mais esterco (0, 5, 10, 20, 40 e 80 t ha⁻¹), a 28°C, por até 180 dias, com avaliação periódica da quantidade de N mineralizado (N-NH₄⁺ + N-NO₃⁻). Em campo, de novembro de 2011 a maio de 2012, foi conduzido experimento com sacos de polietileno enterrados em canteiros, a 10 cm de profundidade, com as mesmas doses de esterco e os mesmos tempos de avaliação usados no laboratório. Simultaneamente, em campo, foi conduzido experimento com alface, empregando as mesmas doses de esterco, para obter o N absorvido em 180 dias (três cultivos sucessivos). No ano seguinte, nos meses de novembro e dezembro, foi conduzido experimento em campo, combinando duas doses de adubo nitrogenado no transplantio (0 e 40 kg ha⁻¹ de N-ureia) e quatro em cobertura (0, 30, 60 e 90 kg ha⁻¹), parceladas em duas ou três vezes (fatorial 2x4x2). Neste experimento, a dose de esterco aplicada foi calculada com base na taxa de mineralização determinada com o método dos sacos enterrados. Os métodos de incubação em laboratório e em campo não foram eficientes para prever a disponibilidade de N para alface em solo adubado com esterco bovino. A aplicação de 40 kg ha⁻¹ de N-ureia no transplantio das mudas resultou em aumento de produtividade de 26% (3.583 kg ha⁻¹) e 98% da produtividade máxima foi obtida com 60 kg ha⁻¹ de N em cobertura, parcelados em duas aplicações. O teor de nitrato nas plantas ficou abaixo do limite tolerado em todas as combinações de doses no plantio e em cobertura.

Palavras-chave: adubação nitrogenada de cobertura, fração de mineralização, *Lactuca sativa*, método de incubação, parcelamento, sacos enterrados

NITROGEN MINERALIZATION OF CATTLE MANURE AND PRODUCTION OF LETTUCE AS AFFECTED BY UREA-N

SUMMARY – An experiment in laboratory and three in the field were carried out with the objectives of compare laboratory and field methods to determine N mineralization rate of cattle manure; assess lettuce productivity and nitrate accumulation in plants, due to urea-N rates at planting and topdressing. The soil used in the laboratory experiment was collected at the site of field experiments and is an Oxisol. In the laboratory method, soil and manure (0, 5, 10, 20, 40 and 80 t ha⁻¹) were incubated at 28°C for 180 days, and the amount of N mineralized (NH₄⁺-N + NO₃⁻-N) was determined periodically. Field experiment was carried out in polyethylene buried bags in beds, in 0.1 m deep, with the same doses of manure and the same evaluation times used in the laboratory, from November 2011 until May 2012. Simultaneously, a field experiment was carried out with lettuce, using the same doses of manure to get N uptake in 180 days (three successive crops). In the following year, in November and December, it was carried out an experiment combining two doses of nitrogen fertilizer at transplanting (0 and 40 kg ha⁻¹ urea-N) and four in topdressing (0, 30, 60 and 90 kg ha⁻¹), divided into two or three application times (2x4x2 factorial). In this experiment, the dose of manure was calculated based on the rate determined by buried bags method. The methods of incubation in the laboratory and in the field were not efficient for predicting N availability to lettuce in soil fertilized with cattle manure. The application of 40 kg ha⁻¹ urea-N at transplantation resulted in increased productivity by 26% (3,583 kg ha⁻¹) and 98% of maximum productivity was obtained with 60 kg ha⁻¹ N, splitted in two applications. The nitrate content in plants was below the limit tolerated at all dose combinations at planting and topdressing.

Keywords: buried bags, incubation methods, *Lactuca sativa*, mineralization rate, nitrogen topdressing, parceling

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

No Brasil, há grande oferta de resíduos orgânicos, que são fontes de N e de outros nutrientes para as plantas. O uso racional dos resíduos orgânicos implica, entre outros aspectos, na definição adequada da dose a ser aplicada nas lavouras. No caso do N, o cálculo da dose mostra-se dependente da dinâmica de mineralização do nutriente, a qual é influenciada pela composição química dos resíduos e por fatores bióticos e abióticos associados aos solos, nos quais os materiais são aplicados (BERNAL et al., 1998; TRINSOUTROT et al., 2000; KHALIL; HOSSAIN; SCHMIDHALTER, 2005).

Os adubos orgânicos utilizados como fontes de N nas lavouras englobam os esterco bovino, suíno e de galinha, tortas vegetais, lodo de esgoto, torta de filtro, camas aviárias e compostos orgânicos produzidos a partir de restos vegetais ou do lixo urbano. A grande variedade de resíduos disponíveis para uso como fontes de N, aliada às diferenças na composição química e no grau de humificação desses materiais, fazem com que as frações de N nos resíduos e as suas taxas de mineralização variem (TRINSOUTROT et al., 2000).

A adubação orgânica faz parte das recomendações de adubação para hortaliças. As quantidades recomendadas são elevadas e o adubo mais frequentemente sugerido e usado pelos agricultores é o esterco bovino curtido. Para o Estado de São Paulo são recomendadas de 60 a 80 t ha⁻¹ de esterco bovino para a cultura da alface, misturadas com o solo dos canteiros pelo menos 10 dias antes do transplântio das mudas (TRANI et al., 1996). Nos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, a recomendação para hortaliças é de 40 a 80 t ha⁻¹ de esterco bovino (SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 2004) e, em Minas Gerais, 50 t ha⁻¹ de esterco bovino, para cultivo de alface (FONTES, 1999).

A justificativa para as doses elevadas é a baixa concentração de nutrientes (SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 2004) e, pode-se acrescentar, a dependência da mineralização do resíduo para o efetivo aproveitamento dos nutrientes pelas plantas. Quanto ao primeiro argumento, considerando esterco bovino com concentração média de 23 g kg⁻¹ de N (base seca), as doses totais de N aplicadas, de acordo com as recomendações dos estados, variam de 1.380 a 1.840

kg ha⁻¹ (São Paulo), 920 a 1.840 kg ha⁻¹ (Rio Grande do Sul e Santa Catarina), e 1.150 kg ha⁻¹ (Minas Gerais).

Cerca de metade do N dos esterco é disponível para absorção pelas plantas, perdas por volatilização ou lixiviação. A fração remanescente está em formas orgânicas que são apenas lentamente mineralizadas. Como resultado da liberação lenta, ocorre acúmulo de N orgânico no solo com aplicações repetidas de esterco, o que torna difícil a estimativa do N que será disponibilizado para as plantas (CHANG; JANZEN, 1996).

No Estado de Minas Gerais, os autores da recomendação de adubação admitem taxas de mineralização de N de 50% no primeiro ano, 20% no segundo e 30% após o segundo (COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS, 1999). O fornecimento provável de N para as plantas no primeiro ano seria então de 460 a 920 kg ha⁻¹. Mesmo que se admita taxa de mineralização de 20% no primeiro ano, as quantidades liberadas seriam de 184 a 368 kg ha⁻¹, o que não é pouco, sobretudo se a estas quantidades forem somadas as doses de N na forma de fertilizante mineral: 40 kg ha⁻¹ de N no plantio, mais 60 a 90 kg ha⁻¹ de N em cobertura (TRANI et al., 1996), 20 kg ha⁻¹ de N no plantio, mais 130 kg ha⁻¹ de N em cobertura (FONTES, 1999), ou 20 a 50 kg ha⁻¹ de N no plantio e 60 a 150 kg ha⁻¹ de N em cobertura (SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 2004). Considerando, em média, quatro cultivos de alface por ano na mesma área e a repetição da adubação mineral a cada cultivo, a quantidade de N mineral aplicado mais a fração do N orgânico com potencial para disponibilização pode ultrapassar 1.000 kg ha⁻¹ por ano.

A exportação de N por plantas de alface-crespa cv. Verônica foi de 57,9 kg ha⁻¹, com aplicação de 150 kg ha⁻¹ de N e produção de 1.640 kg ha⁻¹ de matéria seca da parte aérea (AQUINO et al., 2007) e, para a cv. Vanda, a exportação foi de 91,8 kg ha⁻¹ de N, com aplicação de 10 t ha⁻¹ de esterco bovino e 40 kg ha⁻¹ de N no plantio, 60 kg ha⁻¹ de N em cobertura, e produção de 41,5 t ha⁻¹ de matéria fresca (SYLVESTRE, 2010). Embora a recuperação média de N pelas culturas seja de 50 a 60% (CANTARELLA, 2007), no experimento com alface 'Vanda' a recuperação aparente do N mineral aplicado variou de 7 a 24% no verão-outono e de 13 a 34% no inverno (SYLVESTRE, 2010).

Combinando as informações de N recomendado e N exportado pela alface, tem-se a convicção de que a recomendação de adubação desconsidera o fornecimento de N do adubo orgânico, o que provavelmente se justifica pela dificuldade de estimar as quantidades de N que serão fornecidas pelo esterco ao longo dos cultivos. Os mesmos comentários valem para os outros nutrientes.

A mineralização dos adubos orgânicos é dependente de um conjunto de fatores climáticos e edáficos, além dos atributos dos próprios materiais, entre os quais estão a concentração de nitrogênio e a proporção entre as formas orgânica e amoniacal, a relação C/N, o grau de maturação e a biodegradabilidade do carbono do material. Um dos principais atributos é a relação C/N (SIMS, 1995). Para esterco de gado de leite, média de 107 amostras, a relação C/N variou de 11,3 a 38,9, com média de 18,7 e, valores abaixo de 16,0, resultaram em mineralização líquida de N (CALDERÓN et al., 2004).

Parte do N dos esterco pode já estar na forma mineral. Em esterco de gado de corte, o N total médio de amostras provenientes de 25 aplicações anuais foi de $15,9 \text{ g kg}^{-1}$, e a proporção média de N orgânico: N-NH_4^+ foi de 89,7%: 8,9% (HAO et al., 2003). Em esterco de gado de leite, o N total determinado foi de $28,7 \text{ g kg}^{-1}$ e a proporção N orgânico: N-NH_4^+ foi de 97,3%: 2,7% (CASTELLANOS; PRATT, 1981).

No N-orgânico dos esterco há, ainda, uma fração relativamente instável, na forma de ureia dissolvida, e uma fração relativamente mais estável, componente do material sólido. A ureia hidrolisa rapidamente a N-NH_4^+ e pode ser convertida a NH_3 em curto intervalo de tempo, quando o pH aumenta. A fração orgânica do esterco é mais estável e mineraliza mais lentamente. Em função disso, é possível definir uma taxa de decomposição para o N do resíduo que considera a quantidade de N que será disponibilizada no primeiro cultivo e a quantidade que sofrerá mineralização gradual e será disponibilizada nos anos subsequentes. Para esterco bovino (gado de leite) foi determinada a série 21, 9, 3, 3 e 2. O primeiro número representa a quantidade mineralizada no primeiro ano, expressa como porcentagem do N total aplicado na forma de esterco, o segundo número representa a porcentagem do N residual do primeiro ano que mineralizou no segundo ano, e assim sucessivamente (KLAUSNER; KANNEGANTI; BOULDIN, 1994).

A avaliação do N mineralizável dos resíduos orgânicos aplicados em solos é normalmente feita em laboratório e a principal limitação dos métodos é exatamente o controle das variáveis ambientais. Dos métodos existentes, o da coluna de percolação proposto por Stanford e Smith (1972) é o mais empregado. Para avaliação da mineralização em campo são empregados os métodos do saco de polietileno enterrado (ENO, 1960), o dos tubos cobertos (ADAMS; ATTIWILL, 1986) e o dos tubos abertos com resina trocadora de íons (DISTEFANO; GHOLZ, 1986). Dentre os métodos usados no campo, o dos sacos enterrados é o mais simples. A permeabilidade do polietileno às trocas gasosas foi avaliada pelo autor do método (ENO, 1960) mas, apesar disso, esse aspecto é colocado como uma limitação, porque os processos que envolvem o uso de oxigênio dentro dos sacos, como por exemplo a nitrificação, podem ser afetados pela diminuição do oxigênio decorrente da própria atividade microbiana (ABRIL; CAUCAS; BUCHER, 2001).

Gordon, Tallas e Cleve (1987) testaram sacos com espessuras de 0,015, 0,020 e 0,032 mm a 5, 15 e 25°C por períodos de até 28 dias de incubação e concluíram que os sacos, independentemente da espessura, foram permeáveis ao CO₂ e impermeáveis à perda de água e, mesmo quando tratado com ureia, que estimula a produção de CO₂, o solo contido nos sacos permaneceu bem oxigenado.

Eno (1960) relatou que podem ocorrer danos aos sacos durante o período de incubação, por insetos ou raízes de plantas, mas considera que o método é sensível e reflete os efeitos da temperatura na produção de nitrato. Como as áreas de cultivo de hortaliças são irrigadas e os valores de pH são mantidos altos, a temperatura é, provavelmente, o fator mais importante na definição da taxa de mineralização de N e, deste modo, o método dos sacos enterrados pode combinar simplicidade e eficiência.

Apesar das dificuldades na estimativa do N mineralizável dos resíduos orgânicos, o conhecimento das taxas de mineralização em ambientes diversos pode permitir a contabilização desta fonte de N e de outros nutrientes na recomendação de adubação para hortaliças. Como vantagens têm-se a racionalização do uso dos adubos orgânico e mineral, o equilíbrio no fornecimento de nutrientes e a preservação da qualidade do solo e das águas subterrâneas.

Os trabalhos publicados no Brasil, até o momento, concentraram-se em aspectos relacionados à mineralização de N de lodo de esgoto, que não é recomendado para áreas de cultivo de hortaliças. Pouco se sabe sobre a dinâmica de mineralização de N para os resíduos de origem animal e agroindustrial. Segundo Carneiro et al. (2013), os teores de N total, as formas de N e o grau de humificação dos resíduos orgânicos podem condicionar a velocidade de mineralização e as quantidades acumuladas de N mineralizado. Segundo os autores, é provável que as maiores taxas de mineralização ocorram nos períodos iniciais de incubação e que os resíduos mais ricos em N e menos humificados liberem maiores quantidades de N do que os mais pobres e menos lábeis.

Outro problema do fornecimento de quantidades grandes de N em intervalos de tempo curtos é o acúmulo de NO_3^- nas plantas. Como o nitrogênio é dirigido preferencialmente para as partes fotossinteticamente mais ativas da planta, é encontrado geralmente em maiores concentrações nas folhas (TAVARES; JUNQUEIRA, 1999). Havendo excesso de nitrogênio no sistema e dependendo do metabolismo da planta, pode ocorrer acúmulo de NO_3^- nas partes utilizadas na alimentação humana, o que pode resultar em problemas de saúde.

O acúmulo de N-NO_3^- em plantas resulta da diferença entre as quantidades absorvida e reduzida, de tal maneira que vegetais com sistema de absorção eficiente ou sistema de redução assimilatória ineficiente, devido à menor capacidade fotossintética, tendem a acumular mais N-NO_3^- do que outros. As hortaliças folhosas, como a alface, apresentam maior capacidade de acumular N-NO_3^- do que as que desenvolvem órgãos de armazenamento ou frutos (MAYNARD et al., 1976; BLOM-ZANDSTRA; EENINK, 1986).

Dentre os alimentos, as hortaliças são as principais fontes de N-NO_3^- , contribuindo com cerca de 50% do total ingerido pelo homem (SCHRÖDER; BERO, 2001). O N-NO_3^- ingerido por meio dos alimentos, sofre ação microbiana na saliva e é reduzido a N-NO_2^- , o qual, por sua vez, reage com aminas e forma compostos N-nitrosos, como as nitrosaminas, os quais são carcinogênicos. Em crianças, o N-NO_2^- pode provocar a meta-hemoglobinemia, processo que leva ao impedimento do transporte de oxigênio dos alvéolos pulmonares para os tecidos, mas não há,

praticamente, relatos de novos casos nos Estados Unidos e na União Europeia, desde a década de 1960 (L'HIRONDEL; L'HIRONDEL, 2002).

Diferenças no acúmulo de nitrato entre cultivares de alface foram relatadas por Mantovani et al. (2005): para as variedades de alface-crespa, Vera e Verônica, foram obtidos, respectivamente, 539 e 529 mg/planta de NO_3^- na matéria seca da parte aérea destas cultivares, e para alface-americana (Lucy Brown e Tainá) e alface-lisa (Elisa), 620; 655 e 451 mg/planta, respectivamente, com aplicação de 240 kg ha^{-1} de N.

Dos fatores ambientais, a intensidade luminosa é o que mais afeta a assimilação do NO_3^- pelas plantas. Em condições de baixa intensidade luminosa, a atividade da nitrato redutase diminui, ocorrendo acúmulo de N-NO_3^- (MAYNARD et al., 1976; RICHARDSON; HARDGRAVE, 1992). Dessa maneira, a concentração do íon na planta varia em função do horário de colheita, da época do ano e das condições climáticas (dias nublados ou ensolarados). De acordo com Mengel e Kirkby (1987), em baixa intensidade luminosa, a fotossíntese diminui, afetando a produção de ferredoxina que atua como agente redutor na redução assimilatória do N-NO_3^- , e com isso ocorre acúmulo do íon nos vacúolos. Krohn et al. (2003), ao efetuarem colheitas de alface em quatro horários, verificaram que as plantas colhidas à 0h e às 6h apresentaram teor de N-NO_3^- , em média, 40% maior do que as colhidas às 12h e às 18h.

Trani et al. (1994) avaliaram doses de N (0; 60; 120; 180 e 240 kg ha^{-1}) para produção de rúcula (*Eruca sativa*), em condições de campo, e verificaram teores de N-NO_3^- na parte aérea prejudiciais à saúde, com doses de N de 180 e 240 kg ha^{-1} . De acordo com os autores, a dose 120 kg ha^{-1} de N resultou em 90% da produção máxima de matéria fresca de folhas e em teor de N-NO_3^- na matéria seca correspondente a 73% do valor considerado danoso à saúde.

A preocupação com características de qualidade dos alimentos, entre as quais a concentração de NO_3^- nas hortaliças, levou a Comunidade Europeia a estabelecer, de acordo com a norma nº. 563/2002, os limites máximos permitidos para alface produzida em ambiente protegido e no campo, respectivamente, em 3,5 e 2,5 g kg^{-1} de matéria fresca (SANTAMARIA, 2006). No Brasil, não existe legislação específica que regulamente os teores máximos permitidos de NO_3^- , e, de modo

geral, os limites estabelecidos pela Comunidade Europeia são tomados como referência.

Deste modo, a adequação das doses de adubo orgânico e mineral para alface às reais necessidades da cultura, além do ganho econômico direto, pode garantir a qualidade do produto e a sustentabilidade dos sistemas de produção. Sendo assim, nos próximos capítulos serão apresentados os resultados obtidos em experimentos realizados com objetivos de: a) avaliar métodos de laboratório e de campo para determinar a taxa de mineralização de N do esterco bovino e, b) avaliar a produtividade de alface e o acúmulo de nitrato em função de doses de N-ureia no plantio e em cobertura, em experimento no qual a dose de esterco foi calculada com base na taxa de mineralização do N.

1.1 Referências

ABRIL, A.; CAUCAS, V.; BUCHER, E.H. Reliability of the in situ incubation methods used to assess nitrogen mineralization: a microbiological perspective. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v.17, p.125-130, 2001.

ADAMS, M.A.; ATTIWILL, P.M. Nutrient cycling and nitrogen mineralization in eucalypt forest of south-eastern Australia. II. Indices of nitrogen mineralization. **Plant and Soil**, The Hague, v.92, p.341-362, 1986.

AQUINO, L.A.; PUIATTI, M.; ABAURRE, M.E.O.; CECON, P.R.; PEREIRA, P.R.G.; PEREIRA, F.H.F.; CASTRO, M.R.S. Produção de biomassa, acúmulo de nitrato, teores e exportação de macronutrientes da alface sob sombreamento. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.25, p.381-386, 2007.

BERNAL, M.P.; SÁNCHEZ-MONEDERO, M.A.; PAREDES, C.; ROIG, A. Carbon mineralization from organic wastes at different composting stages during their incubation with soil. **Agriculture Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 69, p.175-189, 1998.

BLOM-ZANDSTRA, M.; EENINK, A.H. Nitrate concentration and reduction in different genotypes of lettuce. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.111, p.908-911, 1986.

CALDERÓN, F.J.; McCARTY, G.W.; Van KESSEL, A.S.; REEVES III, J.B. Carbon and nitrogen dynamics during incubation of manured soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.68, p.1592-1599, 2004.

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: SBCS, 2007. p. 375-470.

CARNEIRO, W. J. O.; SILVA, C. A.; MUNIZ, J.A.; SAVIAN, T. V. Mineralização de nitrogênio em latossolos adubados com resíduos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, p. 716-725, 2013

CASTELLANOS, J.Z.; PRATT, P.F. Mineralization of manure nitrogen – correlation with laboratory indexes. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.45, p.354-357, 1981.

CHANG, C.; JANZEN, H.H. Long-term fate nitrogen from annual feedlot manure applications. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.25, p.785-790, 1996.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Adubação orgânica. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. (Eds) **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**, 5ª aproximação. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1999. p. 87-92.

DISTEFANO, J.F.; GHOLZ, H.L. A proposed use of ion exchange resins to measure nitrogen mineralization and nitrification in intact soil cores. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.17, p.989-998, 1986.

ENO, C.F. Nitrate production in the field by incubating the soil in polyethylene bags. **Soil Science Society of American Proceedings**, Madison, v.24, p.277-279, 1960.

FONTES, P.C.R. Alface. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. (Eds.) **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**, 5ª aproximação. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1999. p.177.

GORDON, A.M.; TALLAS, M.; CLEVE, K. van Soil incubations in polyethylene bags: effect of bag thickness and temperature on nitrogen transformations and CO₂ permeability. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v.67, p. 65-75, 1987.

HAO, X.; CHANG, C.; TRAVIS, G.R.; ZHANG, F. Soil carbon and nitrogen response to 25 annual cattle manure applications. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Tokyo, v.166, p.239-245, 2003.

KHALIL, M.I.; HOSSAIN, M.B.; SCHMIDHALTER, U. Carbon and nitrogen mineralization in different soils of the subtropics treated with organic materials. **Soil Biology Biochemistry**, Elmsford, v.37, p.507-518, 2005.

KLAUSNER, S.D.; KANNEGANTI, V.R.; BOULDIN, D.R. An approach for estimating a decay series for organic nitrogen in animal manure. **Agronomy Journal**, Madison, v.86, p.897-903, 1994.

KROHN, N.G.; MISSIO, R.F.; ORTOLAN, M.L.; BURIN, A.; STEINMACHER, D.A.; LOPES, M.C. Teores de nitrato em folhas de alface em função do horário de coleta e do tipo de folha amostrada. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.21, p. 216-219, 2003.

L'HIRONDEL, J.; L'HIRONDEL, J. L. **Nitrate and man. Toxic, harmless or beneficial?** Cambridge, CABI Publishing, 2002. 168p.

MANTOVANI, J.R.; FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. Produção de alface e acúmulo de nitrato em função da adubação nitrogenada. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.23, p.758-762, 2005.

MAYNARD, D.N.; BARKER, A.V.; MINOTTI, P.L.; PECK, N.H. Nitrate accumulation in vegetables. **Advances in Agronomy**, New York, v.28, p.71-118, 1976.

MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. 4.ed. Bern: International Potash Institute, 1987. 687p.

RICHARDSON, S.J.; HARDGRAVE, M. Effect of temperature, carbon dioxide enrichment, nitrogen form and rate of nitrogen fertilizer on the yield and nitrate content of two varieties of glasshouse lettuce. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v.59, p.345-349, 1992.

SANTAMARIA, P. Review nitrate in vegetables: toxicity, content, intake and EC regulation. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v.86, p.10-17, 2006.

SCHRÖDER, F.G.; BERO, H. Nitrate uptake of *Lactuca sativa* L. depending on varieties and nutrient solution in hydroponic system PPH. **Acta Horticulturae**, Leuven, n.548, p.551-555, 2001.

SIMS, J.T. Organic wastes as alternative nitrogen sources. In: BACON, P.E. (Ed.). **Nitrogen fertilization in the environment**. New York: Marcel Dekker, 1995. p. 487-535.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Porto Alegre: SBCS, 2004. 400p.

STANFORD, G.; SMITH, S.J. Nitrogen mineralization potentials of soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.36, p.465-471, 1972.

SYLVESTRE, T.B. **Produção de alface-crespa, acúmulo de nitrato na planta e lixiviação do íon no solo em função da adubação nitrogenada**. 2010. 41 p. Dissertação – (Mestrado em Agronomia). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, UNESP, 2010.

TAVARES, H.L.; JUNQUEIRA, A.M.R. Produção hidropônica de alface cv. Verônica em diferentes substratos. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.17, p.240-243, 1999.

TRANI, P.E.; GRANJA, N.P.; BASSO, L.C.; DIAS, D.C.F.S.; MINAMI, K. Produção e acúmulo de nitrato pela rúcula afetados por doses de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.12, p.25-29, 1994.

TRANI, P.E.; PASSOS, F.A.; AZEVEDO FILHO, J.A. Alface, almeirão, chicória, escarola, rúcula e agrião d'água. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Eds.) **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 1996. p.168-169. (Boletim Técnico, 100)

TRINSOUTROT, I.; RECOUS, S.; BENTZ, B.; LINERES, M.; CHENEBY, D.; NICOLARDOT, B. Biochemical quality of crop residues and carbon and nitrogen mineralization kinetics under non limiting nitrogen conditions. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.64, p.918-926, 2000.

CAPÍTULO 2 – MINERALIZAÇÃO DE NITROGÊNIO DE ESTERCO BOVINO EM LABORATÓRIO E EM CAMPO

RESUMO – Foram conduzidos três experimentos, um no laboratório e dois no campo, com o objetivo de avaliar a mineralização de N do esterco bovino em laboratório e em campo, e comparar a eficiência dos métodos com base no N absorvido por plantas de alface. O solo utilizado no experimento em laboratório foi coletado no local dos experimentos em campo e é um Latossolo Vermelho. No ensaio em laboratório foi feita incubação de solo mais esterco (0, 5, 10, 20, 40 e 80 t ha⁻¹), a 28°C, por até 180 dias, com avaliação periódica da quantidade de N mineralizado (N-NH₄⁺ + N-NO₃⁻). Em campo foi conduzido ensaio em sacos de polietileno enterrados em canteiros, a 10 cm de profundidade, com as mesmas doses de esterco e os mesmos tempos de avaliação usados no laboratório. Simultaneamente, em campo, foi conduzido experimento com alface, empregando as mesmas doses de esterco, para obter o N absorvido em 180 dias (três cultivos sucessivos). O método dos sacos enterrados não deve ser utilizado por períodos maiores que 90 dias. Os métodos de incubação em laboratório, e em campo usando sacos enterrados, não foram eficientes para prever a disponibilidade de N para alface em solo adubado com esterco bovino.

Termos para indexação: Fração de mineralização, nitrogênio, *Lactuca sativa*.

Nitrogen mineralization of cattle manure using laboratory and field methods

ABSTRACT – It was three experiments, one in the laboratory and two in field conditions, with the objective to evaluate the N mineralization from cattle manure in the laboratory and in the field, and compare the efficiency of methods based on N absorbed by plants of lettuce. The soil used in the laboratory experiment was collected at the site of field experiments and is an Oxisol. In the laboratory test incubation with soil and manure (0, 5, 10, 20, 40 and 80 t ha⁻¹) at 28°C for 180 days, was taken with periodic assessment of the amount of N mineralized (N-NH₄⁺ + N-NO₃⁻). Field experiment was conducted in polyethylene buried bags in beds, 0,10 m deep, with the same doses of manure and the same evaluation times used in the laboratory. Simultaneously, the field experiment was conducted with lettuce, using the same doses of manure to get N uptake in 180 days (three successive crops). The method of buried bags shouldn't be used for longer periods than 90 days. The methods of incubation in the laboratory and field using buried bags were not efficient for predicting N availability to lettuce in soil fertilized with manure.

Key words: mineralization fraction, nitrogen, *Lactuca sativa*.

2.1 INTRODUÇÃO

A determinação do N mineralizável dos resíduos orgânicos aplicados em solos é normalmente feita em laboratório e a principal limitação dos métodos é o controle das variáveis ambientais. Dos métodos disponíveis, o da coluna de percolação proposto por Stanford e Smith (1972) é o mais empregado. Para avaliação da mineralização em campo são empregados os métodos do saco de polietileno enterrado (ENO, 1960), o dos tubos cobertos (ADAMS; ATTIWILL, 1986) e o dos tubos abertos com resina trocadora de íons (DISTEFANO; GHOLZ, 1986). O método dos sacos enterrados é o mais simples. Eno (1960) relatou que podem ocorrer danos aos sacos durante o período de incubação, por insetos ou raízes de plantas, mas considerou que o método é sensível e reflete os efeitos da temperatura na produção de nitrato. Como as áreas de cultivo de hortaliças são irrigadas e os valores de pH são mantidos altos, a temperatura é, provavelmente, o fator mais importante na definição da taxa de mineralização de N e, deste modo, o método dos sacos enterrados pode combinar simplicidade e eficiência. Ainda, os sacos de polietileno são permeáveis às trocas gasosas e não há limitação a atividade microbiana, mesmo na etapa da nitrificação (ENO, 1960).

O método dos sacos enterrados foi avaliado por Subler, Parmelee e Allen (1995) e Abril, Caucas e Bucher (2001). No primeiro caso os autores verificaram que a umidade e a temperatura do solo dentro dos sacos enterrados variaram em função de mudanças ocorridas no meio externo e explicaram os resultados admitindo que os sacos podem não ter sido selados completamente, ou que eles podem ter sido perfurados durante a colocação no solo ou, ainda, podem ter ocorrido falhas no fechamento tipo zip-lock. Abril, Caucas e Bucher (2001) verificaram diminuição na população de nitrificadores e na taxa de respiração dos microrganismos dentro dos sacos enterrados e concluíram que com este método a taxa de mineralização do N orgânico do solo é subestimada.

Avaliando a mineralização do nitrogênio pelo método dos sacos enterrados, na cultura do milho, no norte da Itália, Monaco et al. (2010), em experimento com duração de 12 semanas, obtiveram mineralização média de 70,4 kg ha⁻¹ de N, com os maiores incrementos nos últimos períodos de avaliação. Os autores concluíram

que a técnica dos sacos enterrados subestima a quantidade total de N disponível para o crescimento das plantas.

Apesar das dificuldades na estimativa do N mineralizável dos resíduos orgânicos, o conhecimento das taxas de mineralização em ambientes diversos pode permitir a contabilização desta fonte de N e de outros nutrientes, na recomendação de adubação para hortaliças. Como vantagens têm-se a racionalização do uso dos adubos orgânico e mineral, o equilíbrio no fornecimento de nutrientes e a preservação da qualidade do solo e das águas subterrâneas.

Deste modo, com este trabalho o objetivo foi comparar métodos de determinação da mineralização de N do esterco bovino em laboratório e em campo.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Características do solo e do esterco bovino

Foram conduzidos três experimentos, um no laboratório e dois em condições de campo, empregando no experimento do laboratório, amostra de solo do local onde foram conduzidos os experimentos em campo. As características químicas do solo, determinadas em amostra coletada na camada de 0 a 20 cm de profundidade, antes da instalação dos experimentos, foram: P resina, 165 mg dm^{-3} ; S-SO₄²⁻, 5 mg dm^{-3} ; MO, 21 g dm^{-3} ; pH CaCl₂, 5,8; K⁺, $2,9 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; Ca²⁺, $46 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; Mg²⁺, $15 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; H+Al, $18 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; CTC, $82 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; V, 78%; B, $0,25 \text{ mg dm}^{-3}$; Fe, 28 mg dm^{-3} ; Mn, $8,4 \text{ mg dm}^{-3}$; Zn, $2,8 \text{ mg dm}^{-3}$. O solo do local é um Latossolo Vermelho (EMBRAPA, 2013) com 340 g kg^{-1} de argila, 20 g kg^{-1} de silte e 640 g kg^{-1} de areia na camada de 0 a 20 cm. Os métodos empregados na análise química e na análise granulométrica estão descritos em Rajj et al. (2001) e Camargo et al. (2009), respectivamente.

Nos experimentos foi empregado esterco bovino que havia passado por longo processo de estabilização, em local descoberto e sem revestimento. Depois de homogeneizado, do volume total de esterco foi coletada amostra para caracterização química. A determinação do valor de pH foi feita em amostra úmida, de acordo com o método descrito em Kiehl (1985). A umidade do esterco foi determinada a 60-65 °C e o valor médio obtido foi 17,3%. As demais características químicas foram: pH

CaCl₂, 6,9, C orgânico, 260 g kg⁻¹ e matéria mineral insolúvel, 350 g kg⁻¹ (KIEHL, 1985); N total, 11,0 g kg⁻¹ (TEDESCO et al., 1995); C/N, 24; N-NH₄⁺, 61,3 mg kg⁻¹ e N-NO₃⁻, 18,8 mg kg⁻¹ (CANTARELLA; TRIVELIN, 2001); P, 1,1 g kg⁻¹, K, 5,8 g kg⁻¹, Ca, 3,3 g kg⁻¹, Mg, 1,6 g kg⁻¹ e S, 0,9 g kg⁻¹ (CARMO et al., 2000). A determinação do valor de pH foi feita em amostra úmida e os demais resultados estão expressos em base seca.

2.2.2 Determinação da mineralização de N do esterco bovino em laboratório

No experimento de mineralização realizado em laboratório, foi empregado método de amostragem destrutivo. Amostras de 10 cm³ de solo foram pesadas em triplicata e transferidas para tubos de vidro com 4,4 cm de diâmetro, 16,0 cm de altura e capacidade para aproximadamente 175 mL, às quais foram misturadas quantidades de esterco bovino equivalentes a 0, 5, 10, 20, 40 e 80 t ha⁻¹. O esterco foi misturado cuidadosamente, a seco, com auxílio de uma espátula pequena, aos 10 cm³ de solo do próprio tubo. O umedecimento das amostras foi feito com água desionizada, para atingir a 60% da capacidade máxima de retenção.

Os tubos foram tampados e mantidos em BOD com a temperatura ajustada em 28°C. Uma vez por semana os tubos foram abertos para manutenção da aeração e ajuste da umidade do solo através de pesagem e adição de água desionizada.

As avaliações foram feitas aos 0, 5, 10, 20, 30, 60, 90, 120, 150, e 180 dias de incubação. As amostras que não foram submetidas à incubação (tempo zero) foram avaliadas no início do experimento, logo após a adição do esterco. Em cada data de avaliação, ao solo dos tubos foram adicionados 100 mL de solução de CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹. A suspensão foi agitada por 5 minutos em agitador circular-horizontal; o repouso, em seguida, foi de 60 minutos e, para quantificação das formas minerais de N, foram tomados 30 mL do sobrenadante, que foram transferidos para tubo de destilação com entrada lateral e tampa de rosca. No sobrenadante foram feitas determinações de N-NH₄⁺ e de N-NO₃⁻ por meio de destilação a vapor, com MgO e liga de Devarda, respectivamente, adicionados com medida calibrada pela entrada lateral do tubo. O destilado foi recebido em solução de H₃BO₃ + indicadores e a

titulação foi feita com solução de H_2SO_4 $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ (CANTARELLA; TRIVELIN, 2001).

2.2.3 Determinação da mineralização de N do esterco bovino em campo

O experimento foi realizado no município de Jaboticabal-SP, localizado a $21^\circ 15' 12''$ Sul e $48^\circ 18' 58''$ Oeste, em altitude aproximada de 595 m.

Para a determinação da taxa de mineralização do N orgânico do esterco bovino em campo foi utilizado o procedimento dos sacos enterrados proposto por Eno (1960), com adaptações na quantidade de solo incubada e nos tempos de incubação. Amostra do solo coletada na camada superficial da área (0-20 cm) foi seca e passada em peneira de 4 mm de abertura de malha. A subamostras de $0,2 \text{ dm}^3$ foram misturadas quantidades de esterco bovino equivalentes a 0, 5, 10, 20, 40 e 80 t ha^{-1} . A mistura solo + esterco foi transferida para sacos de polietileno (16,5 cm x 14,9 cm) com fechamento hermético (Ziploc®), e umedecida a 70% da capacidade de retenção de água. Antes do fechamento dos sacos de polietileno o excesso de ar do interior dos sacos foi retirado.

No campo, foram preparados quatro canteiros com 1,2 m de largura (blocos), 15,0 m de comprimento e 0,2 m de altura. Em cada bloco foram delimitadas seis parcelas de 3 m^2 (seis doses de esterco). Em cada parcela foram enterrados 27 sacos com a mistura solo-esterco, a 10 cm de profundidade, no dia 8 de novembro de 2011. Em cada um dos tempos de amostragem (0; 5; 10; 20; 30; 60; 90; 120; 150 e 180 dias), três sacos, ao acaso, foram desenterrados e levados para o laboratório para determinação de N-mineral. O solo dos canteiros não foi cultivado para evitar danos das raízes aos sacos de polietileno, e foi mantido coberto com casca de arroz para simular a condição de temperatura dos canteiros com alface.

O N-inorgânico do solo foi determinado por agitação de 10 g de solo úmido e 100 mL de solução de KCl 1 mol L^{-1} por uma hora, seguida de repouso de 30 minutos, destilação de alíquota do sobrenadante em destilador Kjeldahl e quantificação de N-NH_4^+ e N-NO_3^- conforme descrito em Cantarella e Trivelin (2001). A umidade das amostras foi determinada e o resultado foi expresso em base seca.

2.2.4 Determinação do N absorvido por plantas de alface

Simultaneamente ao experimento dos sacos enterrados foi instalado um experimento para obter o N absorvido por plantas de alface, em área adjacente, utilizando as mesmas doses de esterco. Em função do experimento de mineralização ter duração de seis meses, foram realizados três cultivos de alface, na mesma área, com intervalos aproximados de 20 dias entre um e outro.

Com base no resultado da análise química do solo, não foi necessário fazer calagem, pois o índice de saturação por bases (V%) era 78%. O preparo do solo foi feito por meio de aração e gradagem e o levantamento dos canteiros foi feito para 0,2 m de altura.

Nos canteiros, antes do transplântio das mudas, foi feita adubação mineral de plantio com potássio (100 kg ha^{-1} de K_2O) e boro (1 kg ha^{-1} de H_3BO_3), de acordo com a análise de solo e a recomendação de Trani, Passos e Azevedo Filho (1996). A adubação fosfatada não foi feita porque o teor de P no solo estava muito alto.

As mudas de alface crespa 'Vanda' foram formadas em bandejas de isopor para 200 mudas, preenchidas com substrato comercial (Plantmax Hortaliças®).

O esterco bovino foi aplicado 20 dias antes do transplântio das mudas, no mesmo dia em que os sacos foram enterrados para determinação da taxa de mineralização de N, em área adjacente. O delineamento utilizado no experimento com as plantas também foi em blocos ao acaso com quatro repetições, totalizando 24 parcelas. Cada parcela tinha área total de $3,0 \text{ m}^2$ ($2,5 \times 1,2 \text{ m}$), e era constituída por quatro linhas de 2,5 m de comprimento, espaçadas por 0,30 m. O espaçamento entre plantas era de 0,25 m. A área útil foi constituída pelas duas linhas centrais, desprezando duas plantas iniciais e finais de cada linha.

A precipitação pluvial total no período dos experimentos foi de 830 mm. A complementação com irrigação foi feita quando necessário, usando microaspersores com vazão de 28 L h^{-1} .

A cultura recebeu todos os tratamentos culturais necessários e a colheita do primeiro, segundo e terceiro ciclos foi aos 32, 31 e 34 dias após o transplântio das mudas, respectivamente, ocasião em que as plantas iniciaram o pendoamento. Na colheita, três plantas de cada parcela foram separadas e usadas na determinação de N-orgânico+N-NH₄⁺ (NOA). No Laboratório de Fertilidade do Solo da

FCAV/Unesp de Jaboticabal, onde foram feitas todas as análises de solo e de plantas, as três plantas foram lavadas e secas em estufa com circulação forçada de ar a cerca de 65°C (CARMO et al., 2000). Após atingirem peso constante, as plantas foram pesadas para determinação da matéria seca e, posteriormente, foram moídas para a determinação do NOA em extratos de digestão sulfúrica, que foram submetidos à destilação em microdestilador Kjeldahl e titulação do destilado (CARMO et al., 2000).

2.2.5 Forma de análises dos dados

Os dados de N mineralizado no laboratório e no campo, e de N absorvido pela alface, foram submetidos à análise de variância (teste F) e de regressão polinomial.

A fração de mineralização do N do esterco foi calculada, para os experimentos de laboratório e de campo, de acordo com Cetesb (1999):

$$FM = (NmE - Nm) \cdot 100 / N_{\text{adicionado}}$$

em que:

FM: porcentagem de N mineralizado a partir do N orgânico que foi adicionado na forma de esterco;

NmE: N mineralizado no tratamento com esterco (kg ha⁻¹);

Nm: N mineralizado no tratamento sem esterco (kg ha⁻¹);

N_{adicionado}: quantidade de N adicionada (kg ha⁻¹).

Para comparação dos métodos de incubação foi calculada correlação entre o N mineralizado do esterco bovino determinado em laboratório e o N absorvido por plantas de alface, utilizando os dados obtidos nos 180 dias de incubação/absorção. Entre os métodos, o cálculo de correlação foi feito considerando 90 dias de incubação, período que foi considerado viável para o método de incubação em campo.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nos dados obtidos no experimento em laboratório ocorreu predomínio de imobilização de N nos primeiros dez dias de incubação, seguidos de predomínio de mineralização até os 180 dias. De acordo com Calderón et al. (2004), a mineralização líquida de N de esterco bovino ocorre quando a relação C/N é menor do que 16 e, no caso, ela era 24. Deste modo, o resultado obtido é justificável, porque foram aplicadas grandes quantidades de esterco e o contato entre solo e esterco foi facilitado, uma vez que foram empregadas amostras de solo passadas em peneira de 4 mm.

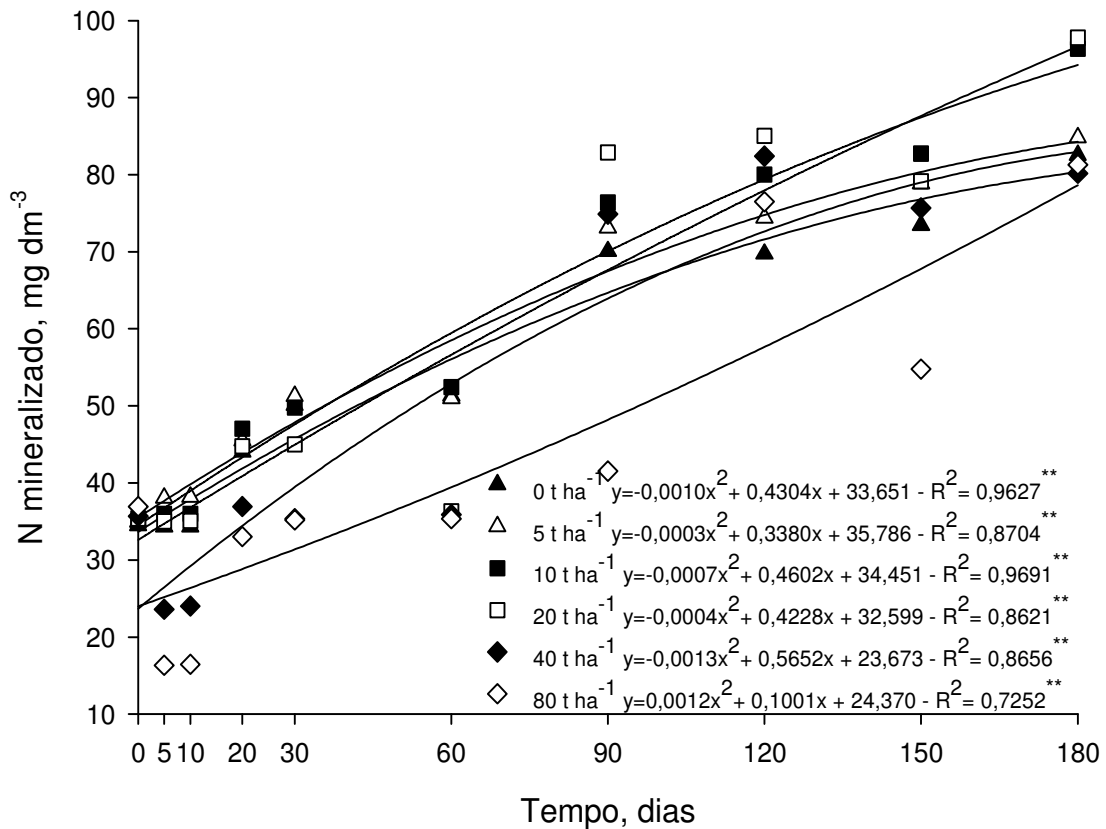


Figura 1. N mineralizado em 180 dias incubação em laboratório, em cada dose de esterco bovino.

Com todas as doses de esterco, o ajuste obtido foi quadrático (Figura 1). Nos tratamentos testemunha e com aplicação de 5, 10, 20 e 40 t ha⁻¹ de esterco, os pontos de máximo ficaram fora do intervalo experimental. No tratamento com

aplicação de 80 t ha⁻¹ de esterco, foi determinado ponto de mínima mineralização aos 42 dias porque, neste tratamento, a imobilização inicial foi mais intensa. Deste modo, não ocorreu estabilização na mineralização de N do esterco após as primeiras semanas, como normalmente ocorre quando se faz aplicação de resíduos orgânicos ao solo. Foi por causa da não estabilização que os dados não ajustaram ao modelo exponencial de cinética de primeira ordem (STANFORD; SMITH, 1972), normalmente utilizado para descrever o comportamento de mineralização de N de solos tratados ou não com resíduos orgânicos.

Com 180 dias de incubação, as quantidades de N mineralizado acumulado, calculadas com base nas equações da Figura 1 e convertidas em kg ha⁻¹, foram: 157; 174; 189; 191; 167 e 163, obtidas respectivamente nos tratamentos testemunha e com aplicação de 5, 10, 20, 40 e 80 t ha⁻¹ de esterco. Chama atenção a quantidade de N mineralizada estimada no tratamento-testemunha, em seis meses. Ela deve estar superestimada devido à secagem/reumedecimento da amostra, e por causa da desagregação da amostra no preparo, quando ela foi destorroada para passar em peneira de 4 mm, o que provoca exposição de compostos orgânicos anteriormente protegidos da decomposição microbiana (YAGI et al., 2009). No entanto, no caso de hortaliças, o preparo dos canteiros no campo pode ter efeito semelhante ao preparo da amostra no laboratório e quantidades grandes de N podem ser mineralizadas do próprio solo na fase inicial da cultura.

Subtraindo o N mineralizado do solo (tratamento testemunha), do valor obtido com cada dose de esterco, tem-se 17, 32, 34, 10 e 6 kg ha⁻¹ de N, respectivamente com as doses 5, 10, 20, 40 e 80 t ha⁻¹ de esterco. Considerando que o esterco utilizado continha 11 g kg⁻¹ de N, em cada dose, adotando ordem crescente, foram aplicados 55, 110, 220, 440 e 880 kg ha⁻¹ de N e, deste modo, aos 180 dias, o N mineralizado correspondeu a 31, 29, 15, 2 e 1%. Os valores obtidos com as doses menores estão dentro da expectativa, uma vez que se admite que cerca de metade do N adicionado é liberada no primeiro ano (FONTES, 1999) e que Klausner, Kanneganti e Bouldin (1994), em condições de clima temperado, calcularam taxa de mineralização de 21% no primeiro ano. Por outro lado, com o emprego das doses maiores, 40 e 80 t ha⁻¹ de esterco, que estão no intervalo de doses recomendadas nos estados de São Paulo, Minas Gerais, e Rio Grande do Sul e Santa Catarina

(TRANI; PASSOS; AZEVEDO FILHO, 1996; FONTES, 1999; SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 2004), não há benefício do ponto de vista de fornecimento de N, nos primeiros 6 meses.

Os dados de N mineralizado obtidos no experimento de incubação no campo também não ajustaram ao modelo exponencial de cinética de primeira ordem, e o modelo quadrático resultou em melhor ajuste, em todas as doses (Figura 2), como ocorreu com os dados de N mineralizado determinado em laboratório. As quantidades máximas de N mineralizado ocorreram entre 85 e 100 dias. Este resultado demonstra que houve perda de N mineralizado do interior dos sacos, na média das doses de esterco, a partir de 92 dias. Eno (1960) relatou que pode haver interferência tanto de raízes quanto de insetos do solo, que podem perfurar os sacos e resultar em perda de N mineralizado. No caso, os canteiros onde os sacos foram enterrados foram mantidos sem plantas, mas danos de insetos podem ter ocorrido e, de fato, quando da coleta das amostras, havia danos nos sacos em alguns casos e, em outros, as amostras estavam secas, o que pode ter sido causado pelo mal funcionamento do fecho tipo “zip-lock”, conforme relatado por Subler, Parmelee e Allen (1995). O autor do método (ENO, 1960) não menciona o tempo que ele pode ser utilizado no campo, mas com base nos resultados obtidos, o máximo pode ser estabelecido em 90 dias e, por isso, foi feito novo ajuste dos dados, restringindo o intervalo aos primeiros 90 dias de incubação (Figura 3). O modelo quadrático, também neste caso, foi o que resultou no melhor ajuste, para todas as doses.

Entre o quinto e o décimo dias de incubação houve rápida imobilização do N do esterco aplicado e, a partir dos 10 dias, ocorreu predomínio da mineralização, até os 90 dias, seguindo a mesma tendência do experimento de laboratório. No fim do período experimental, com 90 dias de incubação, os valores de N mineralizado foram: 130; 160; 140; 162; 148 e 136 kg ha⁻¹ de N, para as doses de esterco 0, 5, 10, 20, 40 e 80 t ha⁻¹, respectivamente. A quantidade de N mineralizado do solo (tratamento testemunha) foi 27 kg ha⁻¹ menor do que a obtida em laboratório, mas também pode ser considerada alta. De acordo com Monaco et al. (2010), após 12 semanas de incubação em sacos, a quantidade mineralizada de N foi de 70 kg ha⁻¹, menos de metade dos valores obtidos. Subtraindo a quantidade mineralizada no solo do tratamento testemunha, dos valores obtidos nas parcelas com aplicação de

esterco, tem-se 30, 20, 32, 18 e 6 kg ha⁻¹ de N. A fração de mineralização de N do esterco, deste modo, aos 90 dias, foi: 55; 9; 15; 4 e 1%, nas doses 5, 10, 20, 40 e 80 t ha⁻¹. A fração de mineralização de N dos esterco é muito variável e Van Kessel e Reeves (2002), trabalhando com 107 tipos de esterco, determinaram fração de mineralização entre -29 a 55%, com média de 13%.

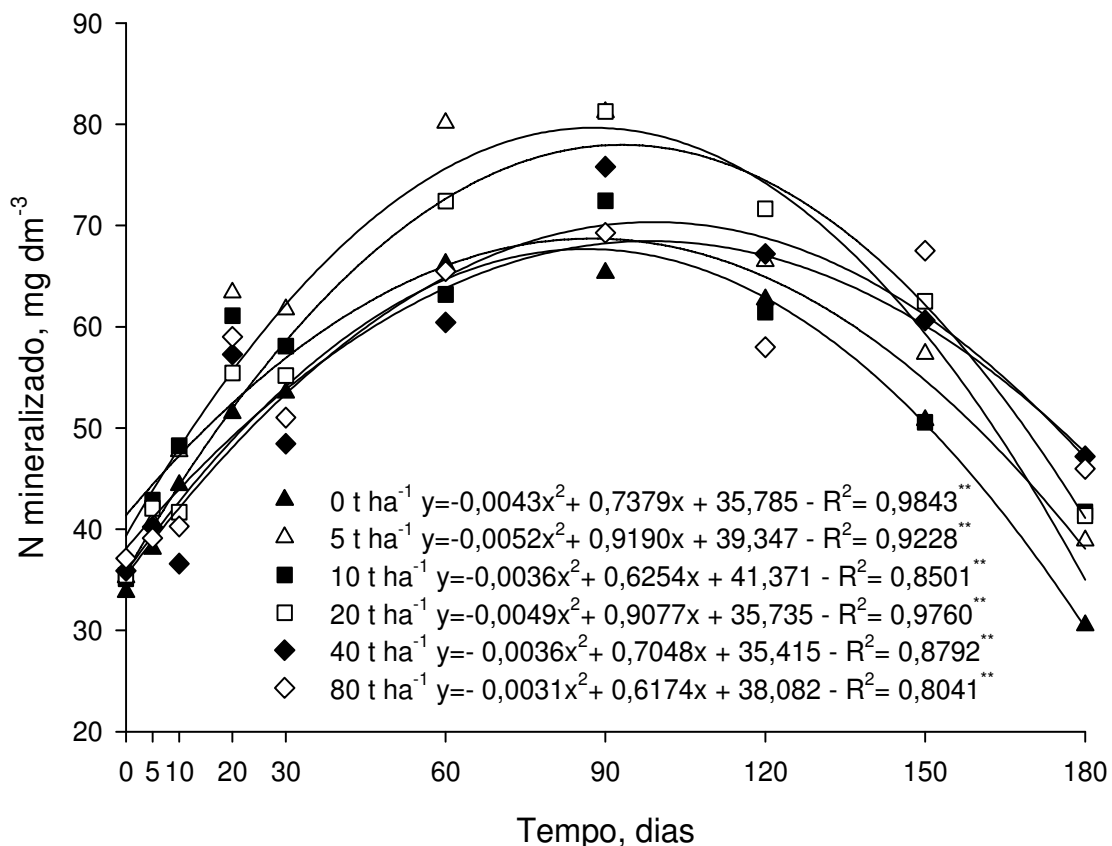


Figura 2. N mineralizado em 180 dias de incubação em sacos enterrados, em cada dose de esterco.

Empregando as equações da Figura 1, tem-se que, com 90 dias de incubação no experimento em laboratório, as quantidades de N mineralizado acumulado, de acordo com as doses de esterco aplicadas, foram de: 128; 128; 140; 135; 128 e 86 kg ha⁻¹ de N, valores próximos aos obtidos com o experimento de campo aos 90 dias. A quantidade mineralizada no tratamento testemunha, com os dois métodos, foi praticamente a mesma e, nos tratamentos que receberam 20, 40 e 80 t ha⁻¹ de esterco, foram obtidos entre 20 e 50 kg ha⁻¹ de N mineralizado a mais com a

incubação em sacos enterrados. Apesar da semelhança de valores em parte das doses, a correlação do N mineralizado acumulado aos 90 dias obtido no experimento dos sacos enterrados, com o N mineralizado determinado no laboratório, não foi significativa ($R=0,34$).

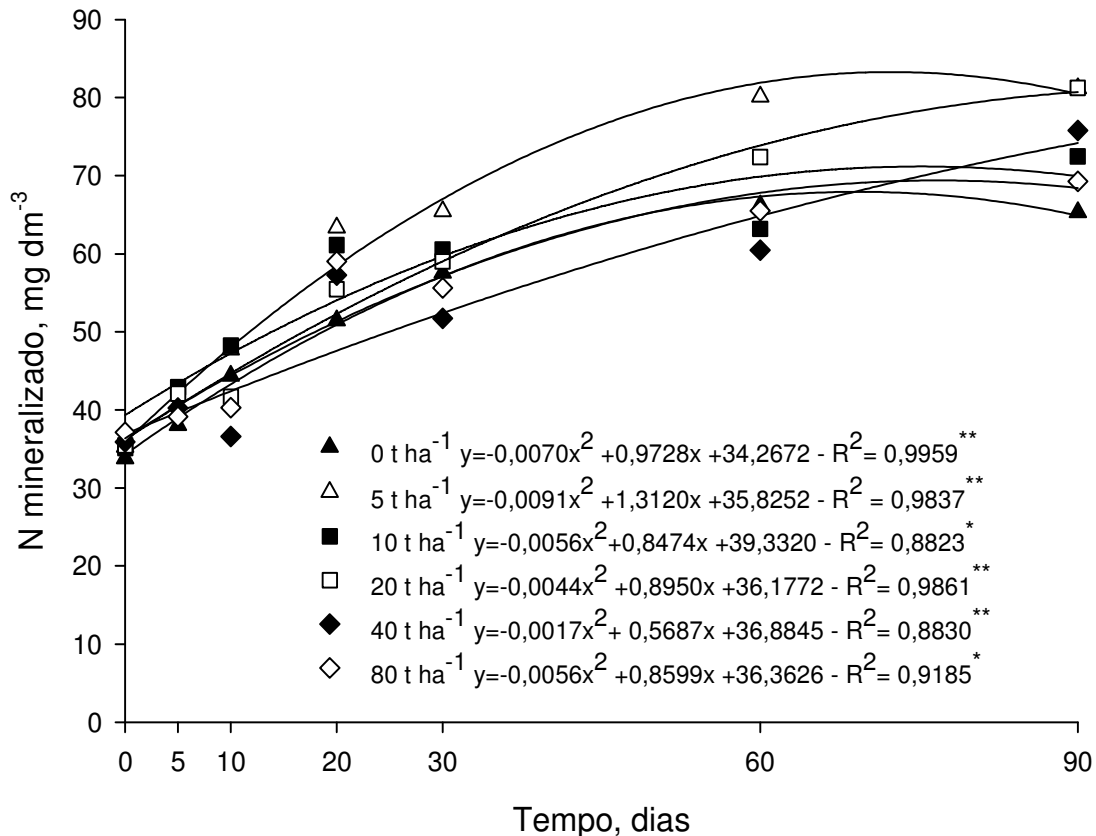


Figura 3. N mineralizado em 90 dias de incubação em sacos enterrados, em cada dose de esterco.

A baixa quantidade de N mineralizado nos experimentos de campo e de laboratório pode ser explicada, em parte, pelo grau de estabilização do esterco. Durante a estabilização, os compostos nitrogenados de degradação mais fácil são mineralizados pelos microrganismos e parte do N é perdida, restando a fração orgânica de decomposição mais lenta. A concentração baixa de N no esterco aplicado (11 g kg^{-1} em base seca) sugere que houve perda, uma vez que, de modo

geral, os teores totais de N em esterco bovino variam entre 13 e 37 g kg⁻¹ (SILVA, 2008).

O mesmo comentário feito em relação ao experimento de laboratório aplica-se à condição de campo, ou seja, a aplicação de doses altas de esterco estabilizados não resulta em benefício do ponto de vista de fornecimento de N para plantas, nos primeiros 180 dias após a aplicação.

O N-orgânico+N-NH₄⁺ (NOA) acumulado pela alface (soma dos três cultivos) aumentou de forma linear com o aumento das doses de esterco, e variou de 23 a 61 kg ha⁻¹ de N (Figura 4). Parte dos valores está abaixo dos relatados na literatura, ou seja, 57,9 kg ha⁻¹ de N para a cultivar Verônica (AQUINO et al., 2007), e 91,8 kg ha⁻¹ de N para a cultivar Vanda (SYLVESTRE, 2010). A diferença, nos dois casos, é devida à aplicação de N-mineral.

Subtraindo o N absorvido pelas plantas no tratamento testemunha, 23 kg ha⁻¹, do N absorvido nos tratamentos com aplicação de 5, 10, 20, 40 e 80 t ha⁻¹ de esterco, tem-se 2, 5, 9, 19 e 38 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, que teoricamente foram fornecidos pelo esterco. Em relação às quantidades de N aplicadas, a recuperação variou de 3,6 a 4,1%.

No tratamento sem aplicação de esterco, o N absorvido pelas plantas representa cerca de 18% do N orgânico do solo que foi mineralizado em 90 dias, segundo a estimativa de mineralização feita tanto no campo como no laboratório, e 15% do N mineralizado em 180 dias determinado em laboratório. Isso indica que, embora houvesse muito mais N à disposição da planta, o aproveitamento foi muito baixo. A baixa eficiência é explicada, em parte, pelo sistema radicular da alface, que fica concentrado nos primeiros centímetros do solo. Jackson et al. (1994) determinaram que 93% da massa total de raízes estavam concentradas na profundidade de 0 a 15 cm, o que significa que quase todo N mineralizado que sofrer mobilização abaixo de 15 a 20 cm estará perdido.

A correlação do N mineralizado acumulado em 180 dias no experimento em laboratório com o NOA absorvido pelas plantas de alface no mesmo período foi de -0,30, não significativa. A planta é o indicador real de disponibilidade de qualquer nutriente e ela foi sensível para detectar o aumento da quantidade de N mineralizada

com o aumento das doses de esterco, o que não ocorreu com os métodos de incubação em laboratório e no campo, particularmente com as doses 40 e 80 t ha⁻¹.

As quantidades mineralizadas determinadas com os métodos de incubação de laboratório e campo e as quantidades absorvidas pelas plantas não podem ser comparadas porque as medidas de N mineralizado foram feitas em sistemas fechados, e as de N absorvido, em sistema aberto, mas a tendência de absorção e de mineralização teria que ser a mesma para que os métodos pudessem ser recomendados como ferramentas para avaliação da capacidade de fornecimento de N pelo solo, com ou sem aplicação de esterco.

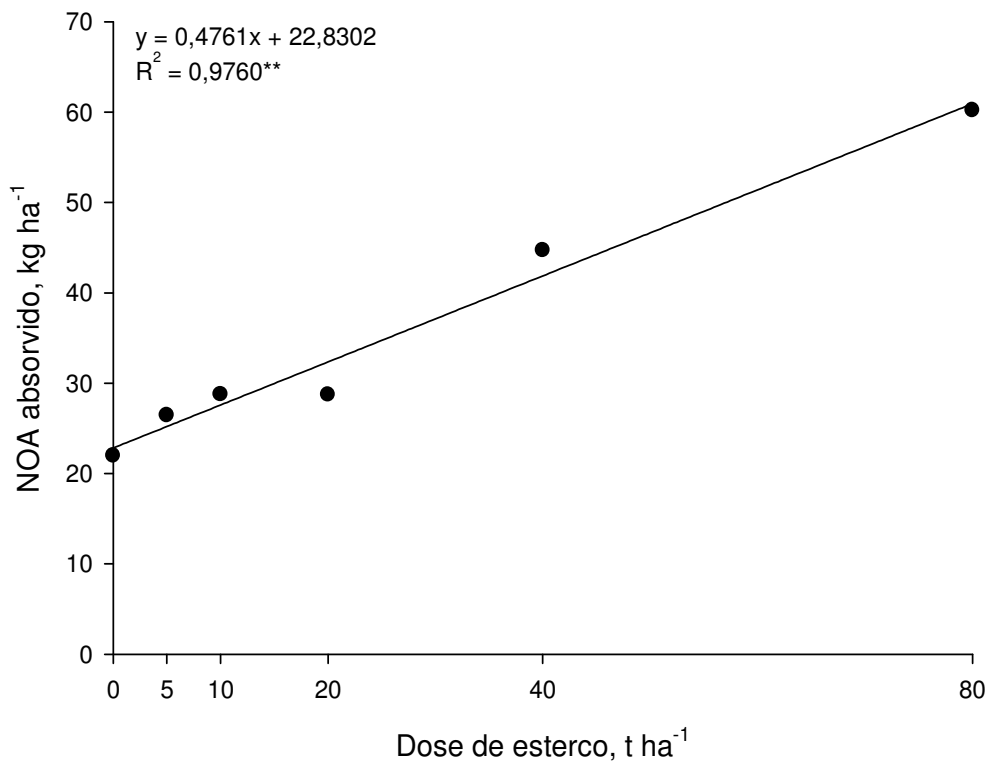


Figura 4. Quantidades de N-orgânico+N-NH₄⁺ (NOA) na parte aérea das plantas de alface dos três cultivos, em função das doses de esterco aplicadas.

2.4 CONCLUSÃO

Os métodos de incubação em laboratório, e de campo usando sacos enterrados, não foram eficientes para predizer a disponibilidade de N para alface em solo adubado com esterco bovino.

2.5 REFERÊNCIAS

- ABRIL, A.; CAUCAS, V.; BUCHER, E. H. Reliability of the *in situ* incubation methods used to assess nitrogen mineralization: a microbiological perspective. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 17, p. 125–130, 2001.
- ADAMS, M. A.; ATTIWILL, P. M. Nutrient cycling and nitrogen mineralization in eucalypt forest of south-eastern Australia. II. Indices of nitrogen mineralization. **Plant and Soil**, The Hague, v.92, p.341-362, 1986.
- AQUINO, L. A.; PUIATTI, M.; ABAURRE, M. E. O.; CECON, P. R.; PEREIRA, P. R. G.; PEREIRA, F. H. F.; CASTRO, M. R. S. Produção de biomassa, acúmulo de nitrato, teores e exportação de macronutrientes da alface sob sombreamento. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.25, p.381-386, 2007.
- CALDERÓN, F. J.; McCARTY, G. W.; Van KESSEL, A. S.; REEVES III, J. B. Carbon and nitrogen dynamics during incubation of manured soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.68, p.1592-1599, 2004.
- CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. A. S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas**. Campinas: Instituto Agronômico, 2009. 77p. (Boletim Técnico, 106)
- CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P. C. O. Determinação de nitrogênio inorgânico em solo pelo método da destilação a vapor. In: RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.;

CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (Eds.) **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. p.270-276.

CARMO, C. A. F. S.; ARAÚJO, W. S.; BERNARDI, A. C. C.; SALDANHA, M. F. C. **Métodos de análise de tecidos vegetais utilizados na Embrapa Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2000. 41p. (Circular técnica, 6)

CETESB. **Aplicações de lodos de sistema de tratamento biológico em áreas agrícolas** – Critérios para projetos e operações. São Paulo: Cetesb, 1999. 32p. (Norma P4.230)

DISTEFANO, J. F.; GHOLZ, H. L. A proposed use of ion exchange resins to measure nitrogen mineralization and nitrification in intact soil cores. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.17, p.989-998, 1986.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Embrapa Solos: Rio de Janeiro, 2013. 306p.

ENO, C. F. Nitrate production in the field by incubating the soil in polyethylene bags. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v.24, p.277-279, 1960.

FONTES, P. C. R. Alface. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Eds.) **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**, 5ª aproximação. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1999. p.177.

JACKSON, L. E.; STIVERS, L. J.; WARDEN, B. T.; TANJI, K.K. Crop nitrogen utilization and soil nitrate loss in a lettuce field. **Fertilizer Research**, The Hague, v.37, p.93-105, 1994.

KIEHL, E.J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1985. 492p.

KLAUSNER, S. D.; KANNEGANTI, V. R.; BOULDIN, D.R. An approach for estimating a decay series for organic nitrogen in animal manure. **Agronomy Journal**, Madison, v.86, p.897-903, 1994.

MONACO, S.; SACCO, D.; BORDA, T.; GRIGNANI, C. Field measurement of net nitrogen mineralization of manured soil cropped to maize. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.46, p.179-184, 2010.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (Eds.) **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 235p.

SILVA, C. A. Uso de resíduos orgânicos na agricultura. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Eds) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais**. 2.ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p.597-624.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Porto Alegre: SBCS, 2004. 400p.

STANFORD, G.; SMITH, S.J. Nitrogen mineralization potentials of soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.36, p.465-471, 1972.

SUBLER, S.; PARMELEE, R. W.; ALLEN, M. F. Comparison of buried bag and PVC core methods for in-situ measurement of nitrogen mineralization rates in an agricultural soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 26, p. 2369-2381, 1995.

SYLVESTRE, T.B. **Produção de alface-crespa, acúmulo de nitrato na planta e lixiviação do íon no solo em função da adubação nitrogenada**. 2010. 41 p. Dissertação – (Mestrado em Agronomia). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, UNESP.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 147p.

TRANI, P. E.; PASSOS, F. A.; AZEVEDO FILHO, J. A. Alface, almeirão, chicória, escarola, rúcula e agrião d'água. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A.M.C. (Eds.) **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico/Fundação IAC, 1996. p.168-169. (Boletim Técnico, 100)

VAN KESSEL, J. S.; REEVES, J. B. Nitrogen mineralization potential of dairy manures and its relationship to composition. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.36, p.118-123, 2002.

YAGI, R.; FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P.; BARBOSA, J. C. Mineralização potencial e líquida de nitrogênio em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, p.385-394, 2009.

CAPÍTULO 3 – PRODUÇÃO DE ALFACE E ACÚMULO DE NITRATO EM FUNÇÃO DE N-UREIA NO PLANTIO E EM COBERTURA

RESUMO - Foi avaliada a produtividade de alface, cv. Vanda, e o acúmulo de nitrato nas plantas, em função de doses de N-ureia no plantio e em cobertura. O experimento foi conduzido em Latossolo Vermelho, na primavera. Os tratamentos resultaram do arranjo fatorial de duas doses de adubo nitrogenado no transplantio e quatro em cobertura, parceladas em duas ou três vezes (2x4x2), totalizando 16 tratamentos arranjados em blocos ao acaso, com quatro repetições. As doses de N no transplantio foram 0 e 40 kg ha⁻¹ de N e, em cobertura, 0, 30, 60 e 90 kg ha⁻¹. Quando parceladas em duas vezes, foram aplicados 40% das doses aos 16 dias após o transplantio (DAT) e 60% aos 24 DAT. Quando parceladas em três vezes, as aplicações foram aos 8 (30%), 16 (30%) e 24 (40%) DAT. Tanto no transplantio quanto em cobertura o adubo foi aplicado ao lado das plantas e, em todas as parcelas, foram aplicadas 26 t ha⁻¹ de esterco bovino, dose calculada com base na taxa de mineralização de N do esterco, com a finalidade de fornecer 40 kg ha⁻¹ de N no transplantio das mudas. A aplicação de 40 kg ha⁻¹ de N-ureia no transplantio das mudas resultou em aumento de produtividade de 26% (3.583 kg ha⁻¹) e 98% da produtividade máxima foi obtida com 60 kg ha⁻¹ de N em cobertura, parcelados em duas aplicações. O teor de nitrato nas plantas ficou abaixo do limite tolerado em todas as combinações de doses no plantio e em cobertura.

Termos para indexação: *Lactuca sativa*, adubação de plantio, adubação em cobertura.

YIELD AND NITRATE CONTENT OF LETTUCE PLANTS AS AFFECTED BY STARTER AND TOPDRESSING NITROGEN

ABSTRACT – It was evaluate the productivity of lettuce cv. Vanda, and nitrate plants accumulation, due to urea-N rates at planting and topdressing. The experiment was carried out in a field experiment in spring. The treatments were in a factorial arrangement of two rates of nitrogen fertilizer at transplanting and four in topdressing, splitted in two or three times ($2 \times 4 \times 2$), totaling 16 treatments arranged in a randomized block design with four replications. The N doses at transplanting were 0 and 40 kg ha^{-1} and at topdressing were 0, 30, 60 and 90 kg ha^{-1} . When splitted in two times, 40% of rates were applied at 16 days after transplanting (DAT) and 60% at 24 DAT. When splitting in three times, the applications were at 8 (30%), 16 (30%) and 24 (40%) DAT. Both in transplanting as in topdressing, fertilizer was applied on the side of the plants. All the plots received 26 t ha^{-1} of cattle manure to provide 40 kg ha^{-1} mineral-N at transplant, calculated with base in the N-mineralization rate of manure. The application of 40 kg ha^{-1} urea-N at transplant resulted in increased in productivity by 26% ($3,583 \text{ kg ha}^{-1}$) and 98% of maximum productivity was obtained with 60 kg ha^{-1} of N in two applications. The nitrate content in plants was below the limit tolerated at all dose combinations at planting and topdressing.

Key words: *Lactuca sativa*, starter fertilizer, topdressing.

3.1 INTRODUÇÃO

A produção de alface apresenta alta resposta à adubação nitrogenada, efeito verificado inclusive no aspecto visual (KATAYAMA, 1993; OSHE, 2000; SANTOS et al., 2001). Sendo assim, a aplicação de grandes quantidades de adubos nitrogenados para produção de alface é frequente, fato que pode resultar em acúmulo de NO_3^- nas folhas e em perdas de nitrogênio por lixiviação (GREENWOOD; HUNT, 1986; FONTES; PEREIRA; CONDE, 1997).

A resposta das plantas de alface à adubação nitrogenada depende de fatores genéticos e edafoclimáticos. Para alface lisa, a produtividade máxima foi obtida com 165 kg ha^{-1} de N (THOMPSON; DOERGE, 1996) e para alface americana, cv. Raider, a dose que resultou em maior produtividade foi a de 149 kg ha^{-1} de N em cobertura, combinada com 60 kg ha^{-1} de N no plantio (RESENDE et al., 2005).

A quantidade de N exportada pela cultura é relativamente pequena em relação às quantidades aplicadas. Para alface 'Verônica', a exportação foi de $57,9 \text{ kg ha}^{-1}$ de N para produção de 1.640 kg ha^{-1} de matéria seca, obtida com 150 kg ha^{-1} de N (AQUINO et al., 2007). A diferença entre as quantidades aplicada e exportada indica a ocorrência de perdas indesejáveis, dos pontos de vista econômico e ambiental, principalmente por lixiviação.

Ao mesmo tempo em que garante a preservação da qualidade da água, a diminuição da quantidade de adubo nitrogenado pode melhorar a qualidade do produto. Dentre os alimentos, os vegetais são a principal fonte de N-NO_3^- , contribuindo com cerca de 50% do total ingerido pelo homem (SCHRÖDER; BERO, 2001). Além da adubação nitrogenada e do caráter genético, a disponibilidade de molibdênio, o sistema de cultivo, a intensidade de luz, a temperatura e a umidade do solo também podem afetar o acúmulo de nitrato nas plantas (MAYNARD et al., 1976; MONDIN, 1996). Para controlar a qualidade dos alimentos, a Comunidade Europeia estabeleceu, na norma nº 563/2002, os limites máximos permitidos para alface produzida em ambiente protegido e no campo, respectivamente em $3,5$ e $2,5 \text{ g kg}^{-1}$ de matéria fresca (SANTAMARIA, 2006). No Brasil não existe legislação específica que regulamente os teores máximos permitidos de NO_3^- e, de modo geral, os limites estabelecidos pela Comunidade Europeia são tomados como referência.

Objetivou-se com o presente trabalho avaliar a produtividade de alface, cv. Vanda, e o acúmulo de nitrato nas plantas, em função de doses de N-ureia no plantio e em cobertura.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em condições de campo, nos meses de novembro e dezembro de 2012, no município de Jaboticabal-SP, localizado a 21°15'12" latitude Sul e 48°18'58" longitude Oeste, em altitude aproximada de 595 m. O solo do local é Latossolo Vermelho (EMBRAPA, 2013) com 340 g kg⁻¹ de argila, 20 g kg⁻¹ de silte e 640 g kg⁻¹ de areia na camada de 0 a 20 cm. O método empregado na análise granulométrica está descrito em Camargo et al. (2009).

Antes da instalação do experimento foi feita amostragem de solo na camada de 0 a 20 cm de profundidade para caracterização química segundo métodos descritos em Raij et al. (2001), e os resultados obtidos foram: P resina, 175 mg dm⁻³; S-SO₄²⁻, 10 mg dm⁻³; MO, 26 g dm⁻³; pH CaCl₂, 6,2; K⁺, 3,9 mmol_c dm⁻³; Ca²⁺, 54 mmol_c dm⁻³; Mg²⁺, 13 mmol_c dm⁻³; H+Al, 15 mmol_c dm⁻³; CTC, 86 mmol_c dm⁻³; V, 83%; B, 0,36 mg dm⁻³; Fe, 22 mg dm⁻³; Mn, 11,8 mg dm⁻³; Zn, 2,5 mg dm⁻³.

O preparo do solo da área experimental foi feito por meio de aração e gradagem, e a seguir foram preparados quatro canteiros, espaçados 0,8 m entre si, e com 1,20 m de largura, 24,0 m de comprimento e 0,20 m de altura. Com base no V% inicial do solo a calagem foi dispensada. Na área total dos canteiros, 20 dias antes do transplante das mudas, foram distribuídas e incorporadas 26 t ha⁻¹ (base seca) de esterco bovino curtido. A quantidade de esterco foi calculada com base na fração de mineralização de N do esterco, em 20 dias de incubação, determinada em experimento a campo, utilizando o método dos sacos enterrados (ENO, 1960), visando o fornecimento de 40 kg ha⁻¹ de N mineral na ocasião do transplante das mudas. Junto às 26 t ha⁻¹ de esterco foram aplicados, em área total, 100 kg ha⁻¹ de K₂O e 1 kg ha⁻¹ de B, utilizando cloreto de potássio e bórax, respectivamente. A adubação fosfatada não foi feita porque o teor de P no solo estava muito alto.

O esterco bovino utilizado havia passado por estabilização durante cerca de seis meses, em local descoberto e sem revestimento. A umidade do esterco foi

determinada a 60-65°C e o valor médio obtido foi 17,3%. Na caracterização química do esterco, a determinação do valor de pH foi feita em amostra úmida, de acordo com o método descrito em Kiehl (1985) e as demais determinações foram feitas em amostra seca. Os resultados obtidos, expressos em base seca, foram: pH CaCl₂, 6,9, C orgânico, 260 g kg⁻¹ e matéria mineral insolúvel, 350 g kg⁻¹ (KIEHL, 1985); N total, 11,0 g kg⁻¹ (TEDESCO et al., 1995); C/N, 24; N-NH₄⁺, 61,3 mg kg⁻¹ e N-NO₃⁻, 18,8 mg kg⁻¹ (CANTARELLA; TRIVELIN, 2001); P, 1,1 g kg⁻¹, K, 5,8 g kg⁻¹, Ca, 3,3 g kg⁻¹, Mg, 1,6 g kg⁻¹ e S, 0,9 g kg⁻¹ (CARMO et al., 2000).

Os tratamentos resultaram do arranjo fatorial de duas doses de adubo nitrogenado no transplântio e quatro doses de adubo nitrogenado em cobertura parceladas em duas ou três vezes (2x4x2), totalizando 16 tratamentos. O delineamento foi em blocos ao acaso, com quatro repetições. As doses de N no transplântio foram 0 e 40 kg ha⁻¹ de N e, em cobertura, foram aplicados 0, 30, 60 e 90 kg ha⁻¹. Quando parceladas em duas vezes, foram aplicados 40% das doses aos 16 dias após o transplântio e 60% aos 24 dias. Quando parceladas em três vezes, as aplicações foram aos 8, 16 e 24 dias após o transplântio, empregando-se respectivamente 30, 30 e 40% das doses. A aplicação de N-ureia no transplântio e em cobertura foi feita ao lado das plantas e, após as adubações, o experimento foi irrigado com o intuito de incorporar a ureia ao solo.

As mudas de alface crespa, cultivar Vanda, foram produzidas em bandejas de isopor para 200 mudas, preenchidas com substrato comercial (Plantmax Hortaliças®), e foram transplantadas no dia 15 de novembro de 2012.

Cada parcela possuía 1,25 m de comprimento e 1,2 m de largura, portanto, área total de 1,5 m², e foi constituída de quatro linhas de plantas, com espaçamento de 0,30 m entrelinhas e 0,25 m entre plantas. A área útil de cada parcela foi formada pelas duas linhas centrais, desprezando uma planta inicial e final de cada linha, perfazendo 0,45 m².

A precipitação pluvial total no período do experimento foi de 157 mm. A complementação com irrigação foi feita quando necessário, usando microaspersores com vazão de 28 L h⁻¹.

A colheita da parte aérea das plantas foi realizada 35 dias após o transplântio das mudas (20 de dezembro de 2012), entre 6h e 7h. Na colheita, as plantas da área

útil foram cortadas rente à superfície do solo e pesadas para obtenção da produção de matéria fresca. De cada parcela, duas plantas foram coletadas ao acaso para determinação da matéria seca e das concentrações de N orgânico+ NH_4^+ e de N- NO_3^- .

As duas plantas coletadas de cada parcela foram rapidamente colocadas em sacos de plástico e mantidas em geladeira a 4°C, até serem lavadas conforme recomendação de Carmo et al. (2000). Em seguida, as plantas foram secadas em estufa com circulação forçada de ar com temperatura em torno de 65°C, até atingirem peso constante, depois foram moídas em moinho do tipo Willey e subamostras foram trituradas em almofariz para passar em peneira de 0,355 mm de abertura de malha.

A determinação de N-orgânico+N- NH_4^+ (NOA) foi feita por digestão sulfúrica, seguida de destilação dos extratos em microdestilador Kjeldahl e titulação do destilado (CARMO et al., 2000).

A determinação de N- NO_3^- foi feita após a extração do íon com água deionizada, por destilação dos extratos em microdestilador Kjeldahl e subsequente titulação do destilado (MANTOVANI et al., 2005a). A concentração de N- NO_3^- na matéria seca das plantas foi convertida em concentração de NO_3^- na matéria fresca.

Todos os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (teste F) e de regressão polinomial.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação de 40 kg ha^{-1} de N no plantio das mudas, de forma localizada, resultou, na média dos demais fatores, em aumento de 3.583 kg ha^{-1} de alface (Tabela 1).

Admitindo que o tratamento que recebeu apenas a adubação com 26 t ha^{-1} de esterco seja equivalente à aplicação de 40 kg ha^{-1} de N-mineral, incorporados ao volume de solo do canteiro, a aplicação de mais 40 kg ha^{-1} de N, de forma localizada, foi decisiva para a definição da produtividade. A dose de 40 kg ha^{-1} de N no plantio é a recomendada por Trani, Passos e Azevedo Filho (1996) para adubação de hortaliças folhosas. Na recomendação, a forma de aplicação é a lanço,

incorporada no volume do solo do canteiro, pelo menos 10 dias antes do transplântio. Esta forma de aplicação é pouco eficiente, particularmente na fase de transplântio, porque o volume de solo explorado pelas plantas é muito pequeno. A resposta à adubação nitrogenada de plantio em alface e outras culturas deve-se à necessidade de concentração alta de nitrato no solo para assegurar absorção ótima de N pelo sistema radicular em desenvolvimento (STONE, 2000). Nesta fase, segundo Burns et al. (2010), embora a quantidade de nutrientes requerida pelas mudas seja pequena, elas precisam manter alta taxa de influxo de nutrientes (alta taxa de absorção por unidade de comprimento de raiz) para atender às suas necessidades porque o sistema radicular é pouco desenvolvido, e isso só é conseguido se a concentração de nutrientes no solo ao redor das raízes for mantida alta. Burns (1990) afirmou que se a necessidade não for atendida, a deficiência temporária de N pode causar diminuição irreversível de crescimento e produção, como de fato aconteceu no presente trabalho, nos tratamentos em que apenas o adubo orgânico foi aplicado.

Houve efeito da aplicação de nitrogênio em cobertura na produtividade, na quantidade de N-orgânico+N-NH₄⁺ (NOA) extraído pela cultura e na concentração de NO₃⁻. A forma de parcelamento da adubação causou diferença apenas na concentração de NO₃⁻ (Tabela 1).

A produtividade máxima sem a adubação mineral de plantio foi de 15.970 kg ha⁻¹, a qual foi obtida com 57 kg ha⁻¹ de N. Com aplicação de N-ureia no transplântio foram obtidos 20.690 kg ha⁻¹ de alface, com a dose de 67 kg ha⁻¹ de N (Figura 1a).

A aplicação de 60 kg ha⁻¹ de N em cobertura, com base na regressão da Figura 1a, nos tratamentos que receberam N-ureia no plantio, proporcionou 99% da produtividade máxima das plantas no experimento. A diminuição na dose de nitrogênio, com apenas 1% a menos na produção máxima, atende a proposta de Kirchmann e Bergstrom (2001), de reduzir a entrada de N em níveis um pouco abaixo do que seria necessário para a produção máxima, de modo a garantir a sustentabilidade de longo prazo do sistema de cultivo. A dose de 60 kg ha⁻¹ de N é o limite inferior da recomendação oficial de adubação nitrogenada em cobertura (60 a 90 kg ha⁻¹ de N) para o cultivo de alface, no Estado de São Paulo (TRANI; PASSOS; AZEVEDO FILHO, 1996) e, ainda, foi a dose considerada mais adequada por

Mantovani, Ferreira e Cruz (2005b) para plantas dos grupos crespa, americana e lisa, uma vez que o emprego de doses maiores não refletiu em ganho de produção e favoreceu o acúmulo de nitrato na parte aérea. Há relatos de resposta a doses maiores, 149 kg ha⁻¹ de N em cobertura, além de 60 kg ha⁻¹ no plantio (RESENDE et al., 2005) e 95,7 kg ha⁻¹, sem adubação orgânica e sem adubação mineral de plantio (PÔRTO et al., 2008). As diferenças são devidas às condições locais (temperatura, umidade, tipo de solo, irrigação, cultivar, etc.).

Tabela 1. Produtividade de alface, N-orgânico+N-NH₄⁺ (NOA) acumulado e concentração de NO₃⁻ na parte aérea em função de doses de N-ureia no plantio, e de doses em cobertura parceladas em duas ou três aplicações.

Fator		Produtividade (kg ha ⁻¹)	N-orgânico+N- NH ₄ ⁺ (NOA) (kg ha ⁻¹)	NO ₃ ⁻ (g kg ⁻¹ de MF)
Dose de N no plantio (kg ha ⁻¹)	0	13.550b	18,23b	1,24a
	40	17.133a	21,88a	1,07b
Dose de N em cobertura (kg ha ⁻¹)	0	10.047	12,61	0,48
	30	16.804	22,37	1,13
	60	16.937	22,49	1,49
	90	17.579	22,73	1,53
Parcelamento	2 vezes	15.090	19,82	1,20a
	3 vezes	15.593	20,29	1,12b
Análise de variância				
N _{plantio} (NP)		17,09 ^{**}	10,14 ^{**}	19,23 ^{**}
N _{cobertura} (NC)		16,74 ^{**}	18,77 ^{**}	160,96 ^{**}
Parcelamento (P)		0,34 ^{ns}	0,17 ^{ns}	4,46 [*]
NP x NC		1,49 ^{ns}	0,92 ^{ns}	1,91 ^{ns}
NP x P		1,45 ^{ns}	1,87 ^{ns}	0,95 ^{ns}
NC x P		1,92 ^{ns}	1,62 ^{ns}	7,36 ^{**}
NP x NC x P		1,65 ^{ns}	2,03 ^{ns}	0,62 ^{ns}
CV (%)		22,60	22,84	13,31

(¹) Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas nas colunas, dentro da mesma avaliação, não diferem entre si pelo Teste de Tukey. ^{ns} não significativo, * e **, representam significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente.

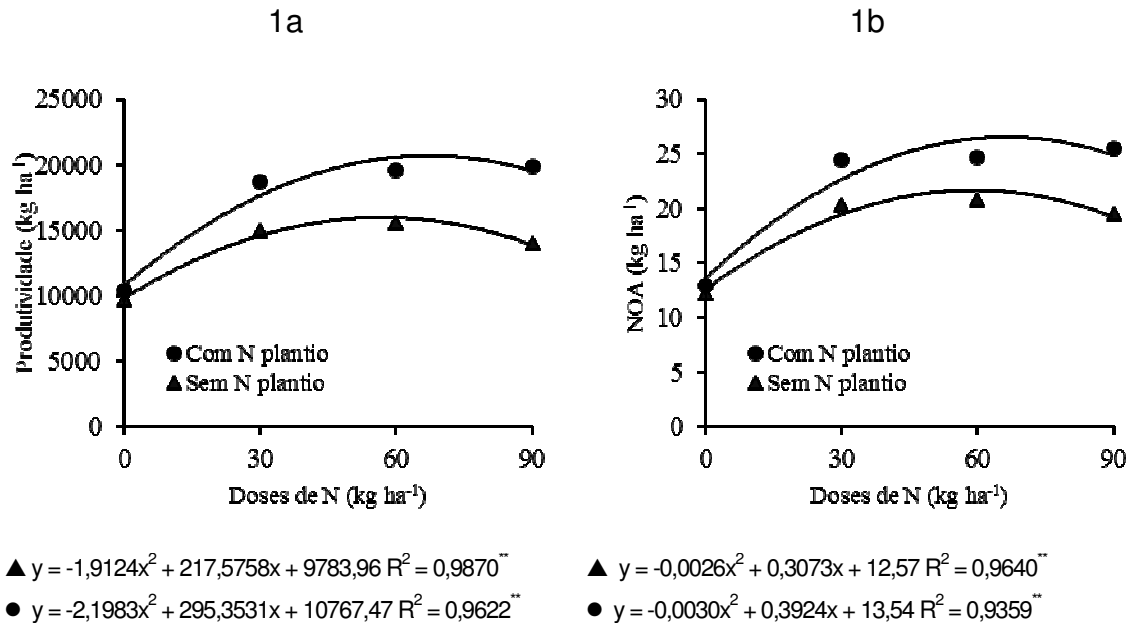


Figura 1. Produtividade (1a) e quantidades de N-orgânico+N-NH₄⁺ (NOA) na parte aérea das plantas de alface (1b), em função de adubação nitrogenada de cobertura.

Com as concentrações de NOA e a produção de matéria seca, foram calculadas as quantidades acumuladas de NOA (Tabela 1), as quais aumentaram com a adubação nitrogenada até as doses estimadas de 59 e 65 kg ha⁻¹ de N, nos tratamentos sem e com N-ureia no plantio, respectivamente (Figura 1b).

A concentração de NO₃⁻ na matéria fresca da parte aérea das plantas de alface diferiram estatisticamente para os três fatores avaliados, doses de N no plantio, doses de N em cobertura e parcelamento (Tabela 1). A concentração de NO₃⁻ na parte aérea das plantas de alface aumentou com a dose de nitrogênio e a aplicação de 69 kg ha⁻¹ de N resultou na maior concentração, quando a adubação de cobertura foi parcelada em duas vezes (Figura 2a). A concentração máxima de NO₃⁻ quando foram aplicados 40 kg ha⁻¹ de N no plantio foi obtida com 71 kg ha⁻¹ de N em cobertura (Figura 2b).

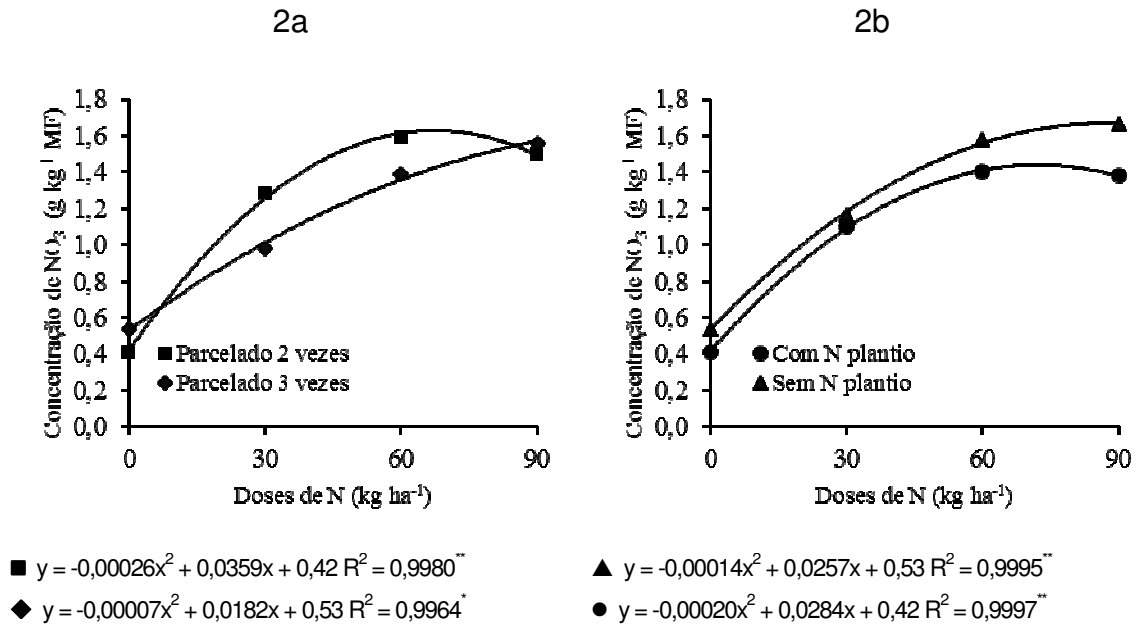


Figura 2. Concentrações de NO_3^- na matéria fresca da parte aérea, com aplicação da adubação nitrogenada de cobertura parcelada em 2 ou 3 vezes (2a) e com e sem a aplicação da adubação mineral de plantio (2b), em função de adubação nitrogenada de cobertura.

As concentrações de NO_3^- obtidas no presente trabalho estão abaixo do limite máximo tolerado, estabelecido pela Norma nº 563/2002 da Comunidade Europeia, ou seja, $2,50 \text{ g kg}^{-1}$ na matéria fresca de alface cultivada a campo (SANTAMARIA, 2006). Os teores de NO_3^- em alface cultivada em solo normalmente não ultrapassam os limites estabelecidos pela Comunidade Europeia e, em diferentes condições e empregando outros métodos de quantificação de NO_3^- que não o utilizado no presente trabalho, há relatos de concentrações de NO_3^- (em g kg^{-1} na matéria fresca) de: 0,03 (FONTES; PEREIRA; CONDE, 1997); 1,86 (CASTRO; FERRAZ JR., 1998); 1,10 (TEI; BENINCASA; GUIDUCCI, 2000); 0,09 a 1,54 (MANTOVANI; FERREIRA; CRUZ, 2005b), e 0,12 (PÔRTO et al., 2008), intervalo em que estão inseridos os valores obtidos (Tabela 1). Com base na legislação europeia e utilizando dados da literatura brasileira, Luz et al. (2008) concluíram que o nitrato não acumula em teores altos nas folhas de alface, mesmo quando as plantas são cultivadas em hidroponia, porque no Brasil há disponibilidade de radiação suficiente para adequada assimilação do íon pelas plantas.

Considerando a maior concentração de NO_3^- na matéria fresca das plantas adubadas com 60 kg ha^{-1} de N em cobertura das Figuras 2a e 2b ($1,64 \text{ g kg}^{-1}$ de

MF), desprezando a contribuição de outras fontes de nitrato, como a água e as carnes, e admitindo a ingestão máxima diária de NO_3^- de $3,65 \text{ mg kg}^{-1}$ de massa corporal estabelecida pela Organização Mundial de Saúde (OSHE, 2000), o consumo máximo diário de alface 'Vanda', por uma pessoa com 70 kg poderia ser 155 g. Como o consumo médio diário de alface por pessoa é de 29 g (MATTOS; MARTINS, 2000), não há risco de atingir o limite de ingestão diária de NO_3^- .

3.4 CONCLUSÕES

- A adubação nitrogenada no transplântio da alface não deve ser dispensada.
- A produtividade máxima de alface 'Vanda' foi obtida com 67 kg ha^{-1} de N em cobertura, na presença de adubação nitrogenada de transplântio, e 98% do máximo foi obtido com 60 kg ha^{-1} de N.
- Os teores de nitrato em plantas de alface 'Vanda' ficaram abaixo do limite tolerado, mesmo na combinação das maiores doses de N avaliadas, ou seja, 40 kg ha^{-1} de N no transplântio e 90 kg ha^{-1} de N em cobertura.

3.5 REFERÊNCIAS

AQUINO, L. A.; PUIATTI, M.; ABAURRE, M. E. O.; CECON, P. R.; PEREIRA, P. R. G.; PEREIRA, F. H. F.; CASTRO, M. R. S. Produção de biomassa, acúmulo de nitrato, teores e exportação de macronutrientes da alface sob sombreamento. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.25, p.381-386, 2007.

BURNS, I. G.; HAMMOND, J. P.; WHITE, P. J. Precision placement of fertiliser for optimising the early nutrition of vegetable crops – a review of the implications for the yield and quality of crops, and their nutrient use efficiency. **Acta Horticulturae**, The Hague, v.852, p.177-188, 2010.

BURNS, I. G. The effects of continuity of early nitrogen nutrition on growth and development of *Lactuca sativa*. In: van BEUSICHEM, M.L. (Ed.) **Plant nutrition – physiology and applications**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1990. p.545-549.

CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. A. S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas**. Campinas: Instituto Agronômico, 2009. 77p. (Boletim Técnico, 106)

CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P. C. O. Determinação de nitrogênio inorgânico em solo pelo método da destilação a vapor. In: RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (Eds.) **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. p.270-276.

CARMO, C. A. F. S.; ARAÚJO, W. S.; BERNARDI, A. C. C.; SALDANHA, M. F. C. **Métodos de análise de tecidos vegetais utilizados na Embrapa Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2000. 41p. (Circular técnica, 6)

CASTRO, S. R. P.; FERRAZ JUNIOR, A. S. L. 1998. Teores de nitrato nas folhas e produção da alface cultivada com diferentes fontes de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.16, p.65-68, 1998.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Embrapa Solos: Rio de Janeiro, 2013. 306p.

ENO, C.F. Nitrate production in the field by incubating the soil in polyethylene bags. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison v.24, p.277-279, 1960.

FONTES, P.C.R.; PEREIRA, P.R.G.; CONDE, R.M. Critical chlorophyll, total nitrogen, and nitrate-nitrogen in leaves associated to maximum lettuce yield. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.20, p.1061-1068, 1997.

GREENWOOD, D. J.; HUNT, J. Effect of nitrogen fertiliser on the nitrate contents of field vegetables grown in Britain. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 37, p. 373-383, 1986.

KATAYAMA, M. Nutrição e adubação de alface, chicória e almeirão. In: FERREIRA, M. E.; CASTELLANE, P. D.; CRUZ, M. C. P. (Eds.) **Nutrição e adubação de hortaliças**. Piracicaba: POTAFOS, 1993. p.141-148.

KIEHL, E.J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 492p. 1985.

KIRCHMANN, H.; BERGSTRÖM, L. 2001. Do organic farming practices reduce nitrate leaching? **Communications Soil Science Plant Analysis**, New York, v.32, p.997-1028, 2001.

LUZ, G. L.; MEDEIROS, S. L. P.; MANFRON, P. A.; AMARAL, A. D.; MÜLLER, L.; TORRES, M. G.; MENTGES, L. A questão do nitrato em alface hidropônica e a saúde humana. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, p. 2388-2394, 2008.

MANTOVANI, J. R.; CRUZ, M. C. P.; FERREIRA, M. E.; BARBOSA, J. C. Comparação de procedimentos de quantificação de nitrato em tecido vegetal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, p.53-59, 2005a.

MANTOVANI, J. R.; FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. Produção de alface e acúmulo de nitrato em função da adubação nitrogenada. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.23, p.758-762, 2005b.

MATTOS, L. L.; MARTINS, L. S. Consumo de fibras alimentares em população adulta. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v.34, p.50-55, 2000.

MAYNARD, D. N.; BARKER, A. V.; MINOTTI, P. L.; PECK, N. H. Nitrate accumulation in vegetables. **Advances in Agronomy**, San Diego, v.28, p.71-118, 1976.

MONDIN, M. **Efeito de sistemas de cultivo na produtividade e acúmulo de nitrato em cultivares de alface**. 88f. 1996. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

OSHE, S. Qualidade nutricional e acúmulo de nitrato em alface. In: SANTOS, O.S. (Ed.) **Hidroponia da alface**. Santa Maria: Imprensa Universitária, 2000. p.10-24.

PÔRTO, M. L.; ALVES, J. C.; SOUZA, A. P.; ARAÚJO, R. C.; ARRUDA, J. A. Nitrate production and accumulation in lettuce as affected by mineral nitrogen supply and organic fertilization. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.26, p.227-230, 2008.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. (Eds.) **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. 285p.

RESENDE, G. M.; ALVARENGA, M. A. R.; YURI, J. E.; MOTA, J. H.; SOUZA, R. J.; RODRIGUES JÚNIOR, J. C. Produtividade e qualidade pós-colheita da alface americana em função de doses de nitrogênio e molibdênio. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.23, p.976-981, 2005.

SANTAMARIA, P. Review nitrate in vegetables: toxicity, content, intake and EC regulation. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v.86, p.10-17, 2006.

SANTOS, R .H. S.; SILVA, F.; CASALI, V. W. D.; CONDE, A. R. Efeito residual da adubação com composto orgânico sobre o crescimento e produção de alface. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, p.1395-1398, 2001.

SCHRÖDER, F. G.; BERO, H. Nitrate uptake of *Lactuca sativa* L. depending on varieties and nutrient solution in hydroponic system PPH. **Acta Horticulturae**, The Hague, n.548, p.551-555, 2001.

STONE, D.A. The effects of starter fertilizers on the growth and nitrogen use efficiency of onion and lettuce. **Soil Use and Management**, Oxford, v.16, p.42-48, 2000.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 147p.

TEI, F.; BENINCASA, P.; GUIDUCCI, M. Effect of nitrogen availability on growth and nitrogen uptake in lettuce. **Acta Horticulturae**, The Hague, n.533, p.385-392, 2000.

THOMPSON, A.L.; DOERGE, T.A. Nitrogen and water interactions in subsurface trickle-irrigated leaf lettuce: agronomic, economic, and environmental outcomes. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 60, p. 163-168, 1996.

TRANI, P. E.; PASSOS, F. A.; AZEVEDO FILHO, J. A. Alface, almeirão, chicória, escarola, rúcula e agrião d'água. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Eds.) **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 1996. p.168-169. (Boletim Técnico, 100)