

Produção e qualidade de forragem e atributos do solo influenciados por adubação orgânica e nitrogenada





Governador do Estado
João Raimundo Colombo

Vice-Governador do Estado
Eduardo Pinho Moreira

Secretário de Estado da Agricultura e da Pesca
João Rodrigues

Presidente da Epagri
Luiz Ademir Hessmann

Diretores

Ditmar Alfonso Zimath
Extensão Rural

Eduardo Medeiros Piazero
Desenvolvimento Institucional

Luiz Antonio Palladini
Ciência, Tecnologia e Inovação

Paulo Roberto Lisboa Arruda
Administração e Finanças



Patrocínio:



ISSN 0100-7416
Agosto/2012

BOLETIM TÉCNICO Nº 157

Produção e qualidade de forragem e atributos do solo influenciados por adubação orgânica e nitrogenada

Eloi Erhard Scherer
Ivan Tadeu Baldissera
Mário Miranda



Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural De Santa Catarina
FLORIANÓPOLIS
2012

Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri)
Rodovia Admar Gonzaga, 1347, Itacorubi, Caixa Postal 502
88034-901 Florianópolis, SC, Brasil
Fone: (48) 3665-5000, fax: (48) 3665-5010
Site: www.epagri.sc.gov.br

Editado pela Epagri/Gerência de Marketing e Comunicação (GMC).

Revisão: João Batista Leonel Ghizoni
Normalização e padronização: Abel Viana
Diagramação: Victor Berretta

Assessoria técnico-científica deste trabalho: Atsuo Suzuki – Epagri/E.E. Caçador
Carla M. Pandolfo – Epagri / E.E. Campos Novos
Gilberto Nava – Epagri / E.E. São Joaquim
Tássio Dresch Rech – Epagri / E.E. Lages

Primeira edição: agosto de 2012
Tiragem: 500 exemplares
Impressão: Imprimax

É permitida a reprodução parcial deste trabalho desde que citada a fonte.

Ficha catalográfica

SCHERER, E.E.; BALDISSERA, I.T.; MIRANDA, M. *Produção e qualidade de forragem e atributos do solo influenciados por adubação orgânica e nitrogenada*. Florianópolis: Epagri, 2012. 50p. (Epagri. Boletim Técnico, 157).

Forragem; Adubação orgânica – forragem.



APRESENTAÇÃO

A produção de leite é um dos principais componentes na formação da renda da maioria dos estabelecimentos agrícolas familiares do Oeste Catarinense com estrutura econômica diversificada. A atividade leiteira nessas propriedades tem evoluído de um modelo tradicional, à base de pasto, com características extrativistas, para outro mais qualificado e competitivo, baseado na melhoria do potencial genético do rebanho e na utilização de forragem de alto rendimento e com melhor qualidade nutricional.

Considerando que a maioria da produção de leite é realizada em pequenas propriedades com pouco capital, o processo de intensificação da produção deve considerar a utilização de sistemas que exijam pequeno investimento e que sejam autossustentáveis. Nesse sentido, o aproveitamento do esterco dos animais como fertilizante tem demonstrado ser uma alternativa eficiente para a produção de grãos e forragem a baixo custo. A reciclagem dos resíduos orgânicos, disponíveis na propriedade, como fertilizante possibilita a superação do *deficit* qualitativo e quantitativo da forragem ofertada aos animais, permitindo aperfeiçoar os sistemas de produção pecuários e agrícolas.

Este trabalho é resultado de um estudo conduzido por vários anos consecutivos com utilização de esterco de suínos como fertilizante, visando produzir forragem em quantidade e com melhor qualidade. São apresentados resultados do efeito acumulativo do esterco sobre atributos do solo, produtividade das espécies forrageiras, qualidade da forragem e análise de custo e benefício da adubação nitrogenada mineral e orgânica.

A Diretoria Executiva

AGRADECIMENTO

Esta pesquisa contou com o aporte de recursos do CNPq e do Prapem/
Microbacias 2.

SUMÁRIO

Introdução	7
1 Material e métodos	8
2 Resultados e discussão	11
2.1 Efeito sobre atributos do solo.....	11
2.1.1 pH e alumínio trocável.....	11
2.1.2 Fósforo, potássio, cobre e zinco disponíveis	21
3 Produção de forragem (matéria seca)	24
4 Eficiência da adubação nitrogenada	32
5 Absorção e acúmulo de nutrientes na forragem	33
5.1 Nitrogênio.....	33
5.2 Fósforo e potássio	35
5.3 Cobre e zinco	37
6 Teor de proteína na forragem.....	40
7 Avaliação econômica	43
8 Conclusões	45
Literatura citada	46

Introdução

Eloi Erhard Scherer¹
Ivan Tadeu Baldissera²
Mário Miranda³

Grande parte da economia da Região Oeste de Santa Catarina gira em torno da agricultura familiar, que tem na produção de leite um dos principais componentes da formação da renda das famílias. Além de sua importância econômica, a atividade possui uma contribuição social muito grande, pois envolve um grande número de pequenos produtores, com pouca área e capital, os quais utilizam essencialmente a mão de obra familiar.

As forrageiras constituem a principal dieta dos animais e, às vezes, o único alimento oferecido, que pode ser sob a forma de pasto, forragem picada, silagem ou feno. Entre as forrageiras anuais cultivadas na região, os maiores destaques são a aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb) e o azevém (*Lolium multiflorum* Lam) na estação fria, e o milheto (*Pennisetum americanum* L.) e o sorgo-forrageiro (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) na estação quente.

Para a sustentabilidade do atual sistema de produção de leite à base de pasto é necessário que as forragens tenham alta qualidade, fornecendo energia, proteínas, minerais e vitaminas em quantidade suficiente para atender as necessidades nutricionais dos animais. A fertilidade do solo é, sem dúvida, um dos determinantes da produção de forragem com qualidade, pois são todas culturas altamente responsivas à adubação (Lupatini et al., 1998; Subba et al., 1991; Moreira et al., 2001; Restle et al., 2002).

O nitrogênio (N) é o fator que mais limita a produção de forragem em ecossistemas com gramíneas. O nutriente participa ativamente na síntese de compostos orgânicos que formam a estrutura do vegetal, tais como aminoácidos, ácidos nucleicos, aminas, amidas, proteínas, vitaminas e molécula de clorofila (Mengel, 1991). Respostas lineares de gramíneas anuais à fertilização nitrogenada acima de 200kg de N/ha têm sido frequentes (Moojen, 1993; Heringer & Moojen, 2002; Subba et al., 1991).

Todavia, o alto preço dos fertilizantes, principalmente dos nitrogenados, é um obstáculo para que se alcance melhor desempenho das forrageiras. Isso leva muitos produtores a usar uma quantidade de N menor que a recomendada, ou até mesmo a não utilizar adubação. Essas atitudes levam a produtividade da cultura para bem abaixo da ideal, o que pode abreviar a permanência de muitos produtores nessa atividade.

¹ Engenheiro-agronomo, Dr., Epagri / Centro de Pesquisa para Agricultura Familiar (Cepaf), C.P. 791, 89801-970 Chapecó, SC, fone: (49) 3361-0600, e-mail: escherer@epagri.sc.gov.br.

² Engenheiro-agronomo, M.Sc., Epagri / Centro de Pesquisa para Agricultura Familiar (Cepaf), e-mail: ivantb@epagri.sc.gov.br.

³ Engenheiro-agronomo, Dr., Epagri / Centro de Pesquisa para Agricultura Familiar (Cepaf), e-mail: mmiranda@epagri.sc.gov.br.

Visando reduzir os custos de produção da pastagem, alguns produtores estão substituindo a adubação mineral pela orgânica, uma fonte de nutrientes disponível em grande parte das propriedades rurais com criação confinada de animais, principalmente de suínos e de aves (Scherer et al., 1996). O aproveitamento integral e racional dos resíduos orgânicos disponíveis na propriedade rural, além de reduzir os custos de produção e aumentar a produtividade das culturas, pode maximizar a eficiência e a sustentabilidade dos sistemas de produção adotados.

Embora a adubação nitrogenada seja fator determinante do crescimento das gramíneas e da qualidade da forragem produzida, é preciso definir a dose adequada de aplicação desse nutriente de acordo com cada fonte de adubo, visando aumentar sua eficiência e reduzir prováveis impactos ambientais. O presente trabalho avaliou efeitos da adubação com esterco líquido de suínos e nitrato de amônio no rendimento e na qualidade da forragem de gramíneas anuais tanto de estação fria como de quente, cultivados em sucessão, e as alterações químicas no solo em função do uso prolongado dos adubos.

1 Material e métodos

O experimento foi conduzido de 1996 a 2009 na área experimental da Epagri/Centro de Pesquisa para Agricultura Familiar, em Chapecó, SC (27°07' latitude sul, 52°37' longitude oeste, 679m de altitude). O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfa (subtropical úmido com verão quente). De 1996 a 2000 a pesquisa foi conduzida com cultivo de milho para produção de grãos, e de 2000 a 2009, com gramíneas forrageiras de estações fria e quente, sempre no sistema plantio direto e com rotação de culturas. Neste trabalho, são apresentados os resultados obtidos com as plantas forrageiras e a evolução das propriedades do solo no período total de condução do experimento.

O tipo de solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho Distroférrico e apresentava, na análise inicial, realizada antes da implantação do experimento, as seguintes propriedades na camada de até 10cm: pH em água = 5,8; I-SMP = 5,7; P = 9mg/dm³; K = 155mg/dm³; matéria orgânica = 3,4%; argila = 63% (Tedesco et al., 1995).

Os tratamentos constaram de doses crescentes de N: 0, 60, 120 e 180kg/ha de duas fontes de adubo: nitrato de amônio (NA) e esterco líquido de suínos (ELS), que foram aplicados a lanço na superfície do solo com base no teor de N total de cada fonte de adubo. No período com cultivo de milho, os adubos foram aplicados uma vez ao ano, em dose única, no dia da semeadura da cultura, enquanto com o cultivo das forrageiras os tratamentos passaram a ser aplicados duas vezes ao ano. No período inicial, de 2000 a 2003, além das doses anteriormente citadas, foram avaliadas duas épocas de aplicação do N, adição no dia da semeadura da cultura (Época 1) e logo após o primeiro corte (Época 2).

Em função de ter sido observada acidificação do solo, os tratamentos foram

alterados, passando-se a avaliar dois níveis de calagem a partir de 2003. Para isso, todos os tratamentos da Época 1 receberam 3t/ha de calcário, e os da segunda época, 6t/ha de calcário e uma aplicação complementar de 3t/ha, em 2006, totalizando uma adição de 9t/ha do corretivo. O calcário utilizado foi o dolomítico, em aplicação superficial, sem incorporação ao solo. A partir do estabelecimento dos níveis de calagem, todo o adubo nitrogenado (N-NA e N-ELS) passou a ser aplicado em dose única, no dia da semeadura das culturas.

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com arranjo dos tratamentos em fatorial e três repetições. As unidades experimentais tinham área total de 5 x 6m, com área útil de 4m² para coleta de material para avaliação da massa seca e dos nutrientes absorvidos pelas plantas.

As quantidades médias de nutrientes adicionados ao solo, no período de 13 anos, por meio do esterco líquido de suínos, encontram-se na Tabela 1, e as rotações de culturas usadas anualmente são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 1. Características do esterco líquido de suínos usado na pesquisa

Variável	Ano da amostragem											
	1996/99	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Média
pH	7,1	7,1	7,0	7,3	6,8	7,2	7,4	7,3	7,1	7,3	7,2	7,2
MS (%)	3,10	3,92	3,26	2,22	4,38	3,96	4,17	2,62	2,76	3,6	3,41	3,34
N (kg/m ³)	3,01	5,36	3,45	2,54	4,36	5,37	4,21	2,46	2,72	3,51	3,12	3,51
P ₂ O ₅ (kg/m ³)	1,82	2,15	1,83	1,19	1,61	2,56	2,98	1,99	1,74	1,78	2,10	1,95
K ₂ O (kg/m ³)	1,40	1,67	1,27	1,00	2,41	1,66	1,92	0,84	0,79	1,19	0,98	1,38
Ca (kg/m ³)	1,36	2,23	0,85	1,44	-	1,29	2,01	0,76	1,72	1,13	0,68	1,34
Mg (kg/m ³)	0,92	1,68	0,92	0,40	-	0,93	1,13	0,24	0,24	0,72	0,43	0,79
Cu (g/m ³)	-	-	-	15	-	22	31	25	14	21	32	23
Zn (g/m ³)	-	-	-	42	-	52	58	27	27	38	37	40
Mn (g/m ³)	-	-	-	21	-	24	42	33	18	21	38	28

Tabela 2. Rotação de culturas com gramíneas forrageiras anuais de inverno e verão na área experimental entre 2000 e 2009

Estação	2000/ 01	2001/ 02	2002/ 03	2003/ 04	2004/ 05	2005/ 06	2006/ 07	2007/ 08	2008/ 09
Inverno ⁽¹⁾	Av/Az	Av/Az	Av/Az	Aveia	Aveia	Aveia	Aveia	Aveia	Aveia
Verão ⁽²⁾	Sorgo	Milheto	Milheto	Sorgo	Milheto	Milheto	Sorgo	Milheto	milheto

⁽¹⁾ Av + Az = Aveia-preta consorciada com azevém (*Avena strigosa* Schreb + *Lolium multiflorum* Lam.).

⁽²⁾ Sorgo-forrageiro (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) e milheto (*Pennisetum americanum* (L.) Leeke).

A semeadura das forrageiras de inverno, nos três primeiros anos, foi realizada a lanço com incorporação das sementes por gradagem leve e, nos demais anos, com semeadora de plantio direto, em linhas espaçadas de 20cm. O sorgo e o milho foram semeados com semeadora de plantio direto, em linhas espaçadas de 45cm. A densidade de semeadura utilizada foi de 60kg/ha de aveia-preta e 15kg/ha de sementes de aveia em consorciação; 90kg/ha de sementes de aveia em cultivo estreme; e 40kg/ha de sementes de milho e 20kg/ha de sementes de sorgo forrageiro em cultivo estreme.

Para avaliação da produção de MS, foram realizados dois cortes por cultura na etapa inicial (2000 a 2003) e, a partir de então, dois cortes na aveia e três cortes no sorgo e no milho. As plantas foram cortadas a uma altura média de 8cm (aveia e aveia) e 10cm (milho e sorgo). As amostras foram secas em estufa a 65°C até peso constante, pesadas, moídas, passadas em peneira de 100 *mesh* e encaminhadas para análise. As análises do tecido foram realizadas conforme metodologia de Tedesco et al. (1995).

O primeiro corte foi realizado aproximadamente 60 dias após a emergência das plantas, e os demais, 50 dias mais tarde. Toda a massa cortada foi retirada da área experimental, à exceção do último corte de cada cultura, em que o material foi picado e distribuído uniformemente na parcela, visando ao suprimento de palha para a sustentabilidade do sistema plantio direto.

Anualmente, foi feita uma adubação básica com P e K de acordo com as necessidades da cultura e o teor do nutriente na análise de solo das parcelas com adubação nitrogenada mineral N-NA (Sociedade..., 2004). As fontes de adubo usadas foram superfosfato triplo e cloreto de potássio, em aplicação superficial e a lanço.

Após quatro anos com cultivo de milho (2000), antes da aplicação do calcário (2003), e após cada dois ciclos com plantas forrageiras (2005, 2007 e 2009), foram coletadas amostras do solo para avaliar os atributos químicos relacionados com a acidez e com os nutrientes disponíveis no solo. As camadas amostradas foram de até 2,5cm; 2,5 a 5cm; 5 a 10cm e 10 a 20cm no ano de 2009, e de até 5cm, 5 a 10cm; 10 a 20cm nos demais anos. As análises de solo foram realizadas no laboratório da Epagri/Centro de Pesquisa para Agricultura Familiar (Cepaf), utilizando metodologia descrita em Tedesco et al. (1995).

Os dados de MS, produtividade e qualidade da forragem e os atributos do solo analisados foram submetidos à análise de variância a 5% de probabilidade. Quando o efeito de dose foi significativo, foram ajustadas funções polinomiais para cada cultura em relação à dose de N aplicada. A análise econômica foi realizada cotando-se o preço da forragem (feno), dos insumos e da hora-máquina para aplicação dos adubos e avaliando-se os resultados de produção de matéria seca das forrageiras de clima temperado (aveia/aveia) e tropical (milho/sorgo) em função da adubação nitrogenada de duas fontes.

De acordo com informações obtidas junto a alguns produtores de feno da Região Oeste Catarinense, verificou-se que o preço recebido por tonelada de feno de aveia e aveia, no ano de 2010, estava variando de R\$300,00 a R\$400,00. Neste

trabalho, adotou-se um valor médio de R\$250,00/t, já com o desconto dos custos de corte, enfardamento e transporte da forragem. Para fins de comparação, adotou-se o mesmo critério de valoração para a forragem de milheto e de sorgo, com valor nutricional pouco inferior ao da forragem de gramíneas de inverno. Na prática, essas forrageiras de corte são manejadas, na maioria dos casos, para a produção de silagem pré-secada, com elaboração dos chamados *bags* ou “rolões”, que pesam entre 400 e 500kg e são comercializados a um preço entre 80 e 120 reais a unidade. Com base no custo de produção e no teor de umidade da silagem, o valor da forragem (feno) foi estimado em R\$ 200,00 a tonelada.

Na estimativa do custo de 1kg de N-NA e de N-ELS aplicado ao solo, considerou-se o preço de mercado do nitrato de amônio e o custo de transporte e distribuição do esterco líquido na lavoura. O custo do quilo de N-NA ficou em R\$2,81 e o de N-ELS em R\$1,78. No cálculo do custo do N-ELS foi considerado: a hora do trator com tanque de 4 mil litros a R\$75,00, com carga, transporte e distribuição de três tanques/hora, ou seja, 12m³/h de ELS. Como cada m³ de ELS da pesquisa tinha em média 3,51kg de N, o custo por quilo de N-ELS aplicado ficou em R\$1,78.

Nos cálculos dos custos de N-ELS não foi considerado seu valor comercial, pois não existe e, no caso do N-NA, não foi considerado o custo de sua aplicação, pois este está embutido no custo da implantação da cultura (semeadora/adubadora). Para o cálculo da dose econômica foram usadas a produção total de matéria seca no período da pesquisa e as quantidades totais de adubo N-NA e N-ELS aplicadas. A dose de máxima eficiência técnica (MET) foi calculada a partir da equação do rendimento de matéria seca em função da dose de N-NA e N-ELS aplicada, igualando-se a derivada da função a zero.

A dose de máxima eficiência econômica (MEE) foi calculada pela fórmula que deriva da equação do lucro líquido por hectare: $L = P_f * Y - P_x - C_f$, em que L é o lucro líquido, P_f é o preço de venda da forragem, Y é a equação do rendimento de matéria seca em função da dose de N aplicada, P_x é o preço de custo do fertilizante, e C_f é o valor dos custos fixos. Para maximizar o lucro (dose de MEE), o Y foi substituído pela equação de rendimento $L = P_f (aX^2 + bX + c) - P_x - C_f$, igualando-se a derivada da função a zero.

2 Resultados e discussão

2.1 Efeito sobre atributos do solo

2.1.1 pH e alumínio trocável

Na Figura 1 é apresentado o efeito de doses e de fontes de N sobre o pH do solo em diferentes camadas, no período inicial da pesquisa (1996 a 2003), após quatro cultivos de milho e seis de plantas forrageiras, sem calagem.

As sucessivas aplicações de adubo nitrogenado na forma de esterco líquido

de suínos (N-ELS) e nitrato de amônio (N-NA) promoveram redução nos valores de pH até a profundidade de 10 e 20cm respectivamente. Esses resultados demonstram que a acidificação do solo provocada pelos adubos nitrogenados não se restringe à camada superficial, mas afeta também a subsuperfície.

A análise de regressão polinomial para expressar a dependência do pH das doses de N indicou significância para efeito linear negativo em todas as camadas de solo amostradas. Na camada de até 5cm verificou-se, nesse período, redução de 0,22 e 0,48 unidade de pH para cada 100kg/ha/cultivo de N-ELS e N-NA aplicado respectivamente. Já na camada de 5 a 10cm o respectivo efeito foi de 0,18 e 0,31 unidade de pH para a mesma quantidade de N-ELS e N-NA aplicada.

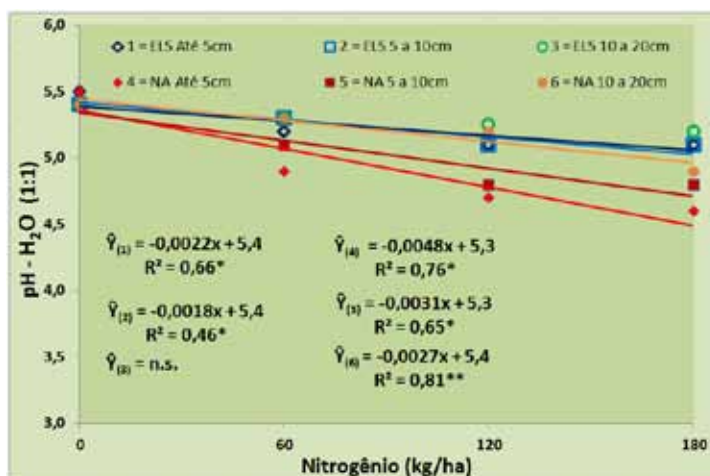


Figura 1. Valores de pH nas camadas de até 5cm, 5 a 10cm e 10 a 20cm, no ano de 2003, observados após a aplicação de doses anuais de N, de 1996 a 1999, e semestrais, de 2000 a 2003, usando como fonte esterco líquido de suínos (ELS) e nitrato de amônio (NA)

Nota: ** e * significativos a 1% e 5% respectivamente.

Na camada inferior (10 a 20cm), apenas o N-NA acarretou redução no pH, no valor de 0,27 unidade para cada 100kg/ha/cultivo de N aplicado. Esses resultados demonstram que o N-NA apresenta maior efeito acidificante no solo do que o N-ELS, reduzindo o pH em maior escala e profundidade. No geral, o efeito do N-NA sobre o pH do solo foi praticamente o dobro do verificado com N-ELS. Corroborando resultados aqui obtidos, diversos autores já relataram redução de pH com uso de adubos amoniacais, entre eles Comin et al. (2007), Eghball (2002), Fox & Hoffman (1981), Juo et al. (1995), Lange et al. (2006), e Scherer et al. (2007).

Quanto ao efeito do esterco de suínos sobre o pH do solo, os relatos encontrados na literatura não são unânimes. Existem resultados que mostram efeito

positivo sobre o pH do solo (Assmann et al., 2009; King et al., 1990; Lourenzi et al., 2010) e efeito depressivo (Adeli et al., 2008; Assefa et al., 2004; Queiroz et al., 2004). Existem, ainda, aqueles sem efeito (Ceretta et al., 2003; Scherer & Nesi, 2009b). Por sua vez, King et al. (1990) relatam que o efeito do ELS sobre o pH do solo depende da quantidade adicionada. Observaram, com aplicação de doses de até 670kg de N-ELS/ha/ano, aumento de até 0,5 unidade de pH, enquanto com a aplicação de 1.340kg de N-ELS/ha/ano o pH do solo diminuiu 0,3 unidade.

Aumento de pH com uso de esterco sólido de suínos (Comin et al., 2007; Scherer, 2011), de aves (Olsen et al., 1970; Gascho & Hubbard, 2006; Scherer & Nesi, 2009b) e de bovinos (Eghball, 1999 e 2002; Whalen et al., 2000) tem sido relatado com maior frequência.

O menor efeito do tamponamento e o maior efeito acidificante do esterco líquido em comparação ao esterco sólido podem ser atribuídos ao maior teor de N amoniacal e ao baixo teor de matéria orgânica que apresenta (Assefa et al., 2004).

As sucessivas aplicações de adubo nitrogenado mineral (N-NA), em função da redução do pH do solo, também provocaram aumento nos teores de Al trocável em todas as camadas de solo amostradas. O mesmo, porém, não se verificou quando da aplicação de adubo orgânico (N-ELS), o que não influenciou significativamente os teores em nenhuma das camadas (Figura 2).

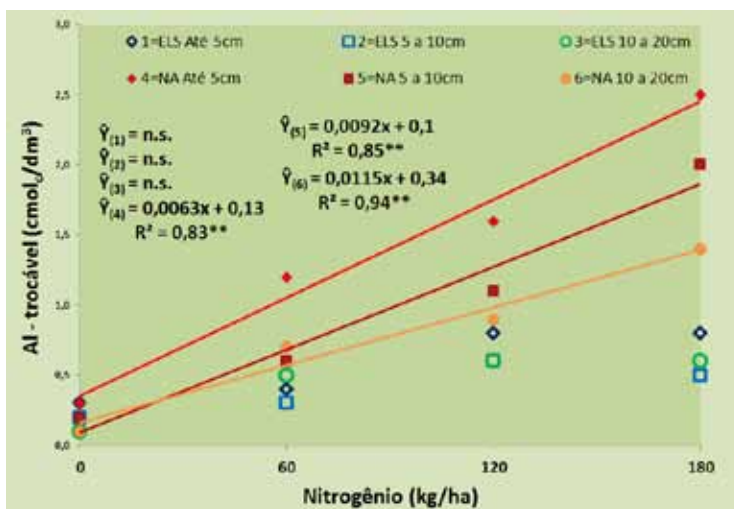


Figura 2. Teores de alumínio trocável no solo nas camadas de até 5cm, 5 a 10cm e 10 a 20cm, no ano de 2003, observados após a aplicação de doses anuais de N, de 1996 a 1999, e semestrais, de 2000 a 2003, usando como fonte esterco líquido de suínos (ELS) e nitrato de amônio (NA)

Nota: ** e * significativos a 1% e 5% respectivamente.

O teor de Al trocável apresentou relação linear positiva com as doses de N-NA aplicadas. Os aumentos no teor foram de 0,63, 0,92 e 1,15 cmol_c/dm³ nas camadas de até 5, 5 a 10 e 10 a 20 cm respectivamente, para cada 100 kg/ha/cultivo de N-NA aplicado. Por sua vez, o efeito benéfico da adubação orgânica sobre a fertilidade do solo e o desenvolvimento vegetal estão evidentes, pois o teor de Al trocável, principal elemento tóxico às plantas em solo ácido, não aumentou com as doses de N-ELS aplicadas, indicando uma provável complexação do Al trocável pelo ELS adicionado. Lourenzi et al. (2010), em estudo com culturas anuais que receberam sucessivas aplicações de ELS, em quantidades de até 80 m³/ha, observaram redução dos teores de Al trocável e da saturação de Al no solo até 20 cm de profundidade. O mesmo foi constatado por Ceretta et al. (2003) com aplicação de ELS em pastagem natural, em um Alissolo Crômico Distrófico, e por Ernani & Gianello (1983), em um estudo realizado em casa de vegetação, com incorporação de esterco de bovinos a um solo ácido.

Na Figura 3 são apresentados os resultados da análise de solo das amostras coletadas em 2009. Eles mostram o efeito das doses de N-NA e N-ELS após 13 anos com sucessiva aplicação dos tratamentos sobre o pH do solo nos dois níveis de calagem estabelecidos a partir de 2003. Observa-se que, quando não há aplicação de adubo nitrogenado, a calagem aumentou o pH nas três camadas superficiais do solo para valores próximos de 6 e 6,5, no menor (3 t/ha) e no maior (9 t/ha) nível de calagem respectivamente. Isso mostra que o calcário aplicado na superfície do solo com plantio direto, além de aumentar o pH do solo na camada mais próxima a sua aplicação, influenciou positivamente o pH do solo em profundidade, corroborando resultados de Caires et al. (2003), que, após 35 meses de aplicação de calcário na superfície do solo com plantio direto, obtiveram aumento no pH do solo até a camada de 20 a 40 cm.

Por outro lado, quando da aplicação de N-NA, o pH do solo diminuiu linearmente com as doses de N aplicadas, em todas as camadas de solo amostradas. Os maiores decréscimos ao longo do tempo foram verificados no menor nível de calagem, com redução de 0,93 a 1,21 unidade de pH para cada 100 kg/ha/cultivo de N-NA aplicado. Já no maior nível de calagem (9 t/ha), a redução foi de 0,86, 1,16, 0,82 e 0,55 unidade de pH nas camadas de até 2,5, 2,5 a 5, 5 a 10 e 10 a 20 cm respectivamente, para cada 100 kg/ha/cultivo de N-NA adicionados. Verifica-se que a ação depressiva do N-NA sobre o pH foi maior nas camadas superficiais, evidenciando uma frente de acidificação do solo com redução do efeito residual da calagem a partir da superfície do solo, corroborando outros trabalhos de pesquisa com uso de adubos amoniacais (Scherer & Nesi, 2009b). Com aplicação de N-ELS nas mesmas doses, a redução nos valores de pH foi menor, variando entre camadas de 0,31 a 0,41 unidade no menor nível de calagem, para cada 100 kg/ha/cultivo de N aplicados. Já no maior nível de calagem, o pH, com exceção da camada mais profunda (10 a 20 cm), não foi influenciado pela aplicação de N-ELS. Na camada inferior do solo houve redução de 0,37 unidade de pH para cada 100 kg/ha/cultivo de N aplicado.

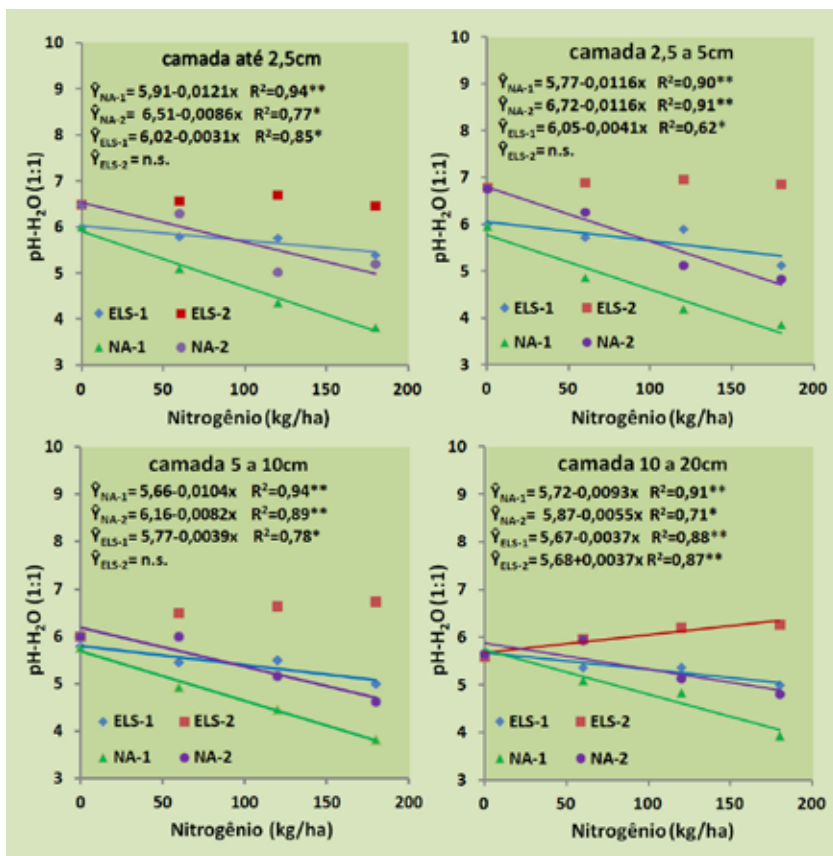


Figura 3. Valores de pH em diferentes camadas do solo, no ano de 2009, observados após a aplicação de doses anuais de N, de 1996 a 1999, e semestrais, de 2000 a 2009, usando como fonte esterco líquido de suínos (ELS) e nitrato de amônio (NA), e dois níveis de calagem (1 = 3t/ha; 2 = 9t/ha), a partir de 2003

Nota: ** e * significativos a 1% e 5% respectivamente.

No geral, após 13 anos com uso continuado de N-NA, mesmo com a aplicação de 9t/ha de calcário, o pH do solo ficou abaixo do valor encontrado por ocasião da implantação do experimento (pH 5,8). Isso mostra que a quantidade de corretivo aplicada não foi suficiente para neutralizar a acidez ocasionada pela aplicação continuada de N-NA, num total de 3.960kg de N/ha, no período de 1996 a 2009.

Por outro lado, com uso de N-ELS e calagem integral, o pH do solo em todas as camadas ficou acima do encontrado na condição inicial. Isso indica que o uso combinado de N-ELS e calcário, em aplicação superficial, é uma prática eficiente para corrigir a acidez do solo, podendo reduzir até mesmo a acidez em profundidade, o que é desejável em se tratando de cultivo em sistema plantio direto. Resultados semelhantes foram obtidos em outros trabalhos com adubação orgânica (Eghball,

2002; Hue & Licudine, 1999).

A Figura 4 exibe os resultados do efeito de doses e fontes de N sobre o teor de Al trocável nos dois níveis de acidez e nas quatro camadas de solo amostradas em 2009. Os maiores teores de Al trocável foram encontrados no solo com menor nível de calagem e com uso de N-NA, e os menores, nos tratamentos sem adubação nitrogenada ou com aplicação de N-ELS.

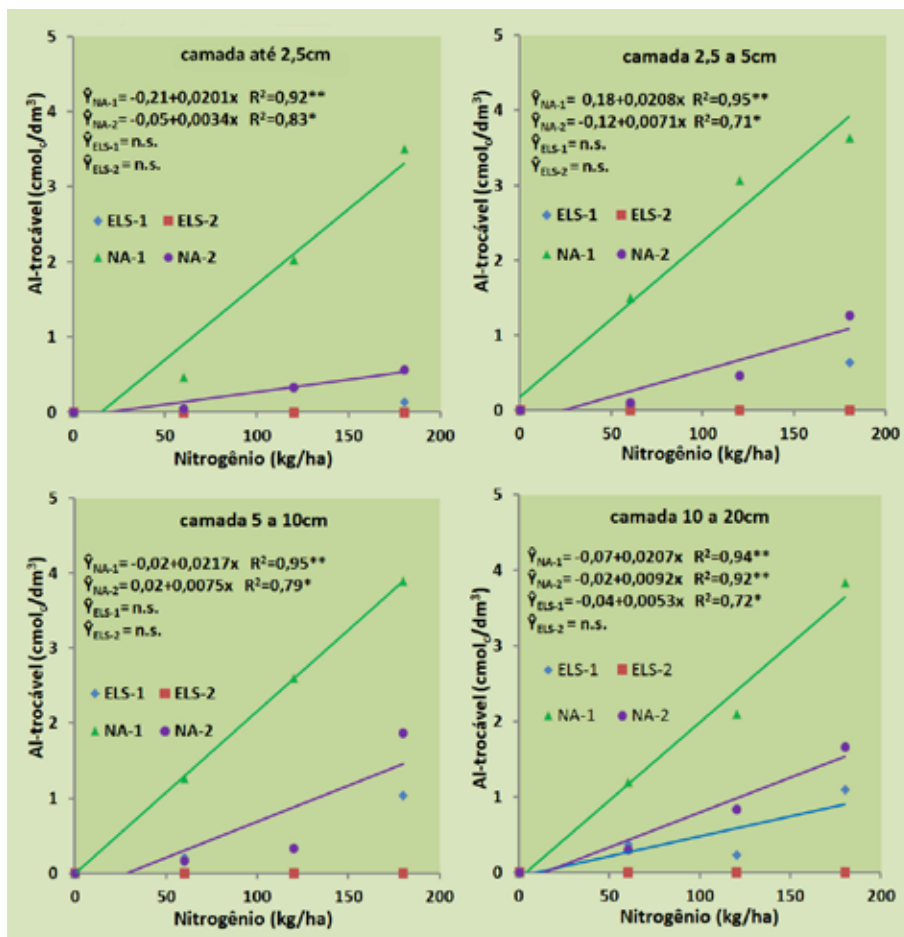


Figura 4. Teores de alumínio trocável nas camadas de até 2,5cm, 2,5 a 5cm, 5 a 10cm e 10 a 20cm do solo, no ano de 2009, observados após a aplicação de doses anuais de N, de 1996 a 1999, e semestrais, de 2000 a 2009, usando como fonte esterco líquido de suínos (ELS) e nitrato de amônio (NA), e dois níveis de calagem (1 = 3t/ha; 2 = 9t/ha), a partir de 2003
Nota: ** e * significativos a 1% e 5% respectivamente.

A análise dos dados mostrou que o teor de Al trocável apresentou relação linear positiva com os níveis de N-NA em todas as camadas de solo. As equações ajustadas estão inseridas na Figura 4. No menor nível de calagem, o coeficiente angular das equações mostra incrementos de 2,01 a 2,17 cmol_c/dm³ de Al para cada 100 kg/ha/cultivo de N-NA aplicados, não se observando diferenciação nos valores entre as camadas do solo. No maior nível de calagem, os incrementos variaram de 0,34 a 0,92 cmol_c/dm³ de Al para cada 100 kg/ha/cultivo de N-NA aplicados e foram maiores nas camadas inferiores, evidenciando maior ação do calcário na neutralização do Al trocável nas camadas mais próximas a sua aplicação.

Com adubação orgânica, o aparecimento do Al trocável ficou restrito às camadas inferiores do solo e somente no menor nível de calagem. É provável que esses teores encontrados nas camadas subsuperficiais ainda sejam reflexos da acidificação do solo verificada no período anterior à calagem. Nesse caso, pode-se inferir que a aplicação superficial de 3 t/ha de calcário não foi suficiente para neutralizar o Al em profundidade. Por outro lado, quando do uso de 9 t/ha de calcário, o Al trocável do solo em todos os tratamentos com N-ELS foi completamente neutralizado até a profundidade de 20 cm. O menor teor de Al trocável, motivado pelo uso de ELS, é devido à complexação do íon pelas frações dos ácidos húmico e fúlvico da MO, que são altamente reativos no solo (Sposito, 1989). Vários outros trabalhos comprovam a influência do esterco animal sobre os teores de Al trocável e a redução da acidez potencial do solo (Ceretta et al., 2003; Ernani & Gianello, 1983; Hoyt & Turner, 1975).

Na Figura 5 é mostrada a evolução dos valores de pH nas diversas camadas de solo em função da aplicação da dose máxima de N-ELS e N-NA (180 kg/ha), no período de 1996 a 2009. Observa-se que o pH do solo, que em 1996 era de 5,8, atingiu, após quatro anos com cultivo de milho, valores de 5,7 com aplicação de N-ELS e 5,5 com aplicação de N-NA. Já na amostragem de 2003, após mais seis ciclos com plantas forrageiras, sem aplicação de calcário, os valores de pH na camada de até 5 cm passaram para 5,2 com uso de N-ELS e 4,6 com N-NA. Nas demais camadas, a redução dos valores de pH também ficou evidente, porém em menor escala.

Isso mostra que a diferença nos valores de pH do solo entre as duas fontes de adubo, que era de 0,2 unidade em 2000, passou para 0,5 unidade em 2003 e, mesmo após aplicação de 3 t/ha de calcário, continuou aumentando no decorrer dos anos. Isso ocorreu principalmente porque a quantidade de corretivo aplicada não foi suficiente para neutralizar a acidez que o solo tinha em 2003 e a acidez ocasionada pelo adubo mineral adicionado em cada cultivo (NA-1). Por outro lado, verifica-se que quando foi usado adubo orgânico (ELS-1), a calagem aumentou o pH do solo, e este se manteve praticamente estável ou até com pequenos incrementos, principalmente na camada inferior.

Essa diferença entre o efeito das duas fontes de adubo sobre o pH do solo ficou mais evidente no maior nível de calagem, realizado de forma parcelada, com aplicação de 6 t/ha em 2003, e mais 3 t/ha em 2006. Nessa condição, o pH do solo dos tratamentos com adubo mineral (NA-2) sofreu, após cada aplicação de calcário, um pequeno aumento inicial, mantendo, depois, certa estabilidade, ao passo que

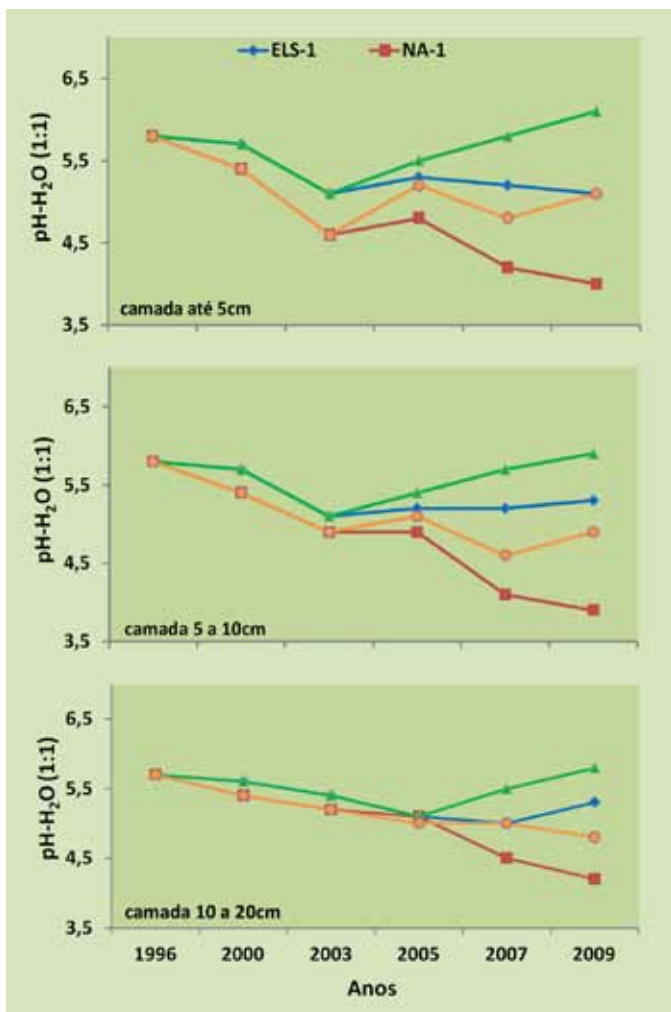


Figura 5. Evolução do pH do solo em três profundidades no decorrer dos anos, com aplicação de 180kg/ha de N, usando esterco líquido de suínos (ELS) e nitrato de amônio (NA), e dois níveis de calcário (1 = 3t/ha; 2 = 9t/ha)

com a aplicação de N-ELS o pH aumentou progressivamente ao longo de todo o período avaliado. Isso mostra haver interação positiva entre calagem e adubação orgânica sobre os fatores de acidez do solo, evidenciada em todas as camadas de solo amostradas.

Cabe aqui novamente destacar que o calcário na maior dose (9t/ha) não foi suficiente para neutralizar a acidez proporcionada pela adubação nitrogenada

mineral, pois ao final do 13º ano todos os tratamentos NA-2 apresentaram $\text{pH} < 5,1$ na camada superficial (até 5cm) e $\text{pH} < 4,9$ nas camadas subsuperficiais. Tais valores de pH são considerados baixos ou muito baixos (Sociedade..., 2004) e estão bastante abaixo do pH (5,8) que o solo tinha na ocasião da implantação do experimento. O Al trocável, como já era esperado, teve comportamento inverso ao pH, aumentado em todas as camadas do solo com a aplicação continuada de altas doses de N-NA (Figura 6).

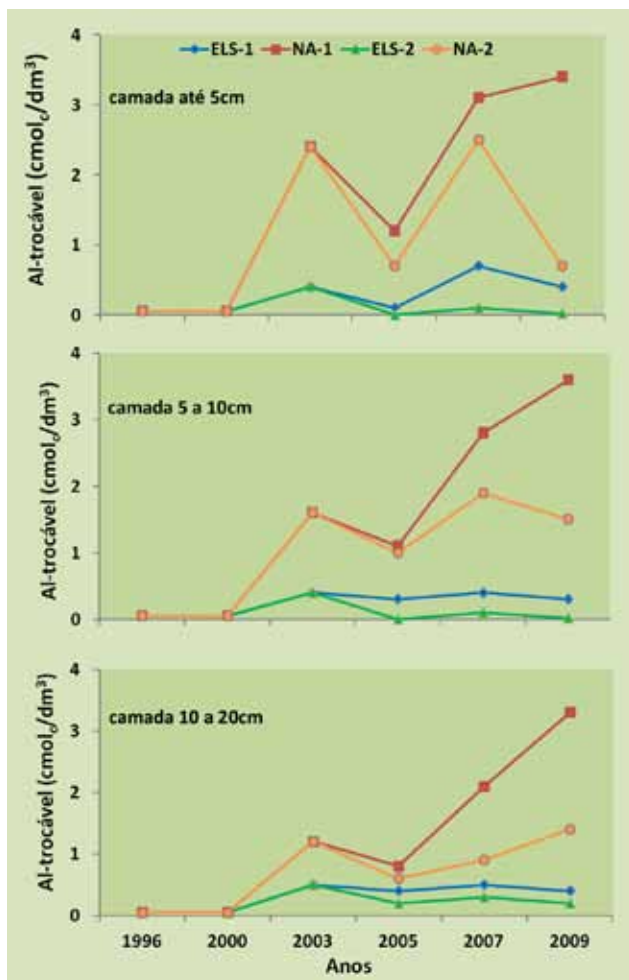


Figura 6. Evolução dos teores de alumínio trocável em três profundidades do solo no decorrer dos anos com aplicação semestral de 180kg/ha de N, usando-se esterco líquido de suínos (ELS) e nitrato de amônio (NA) e dois níveis de calcário (1 = 3t/ha; 2 = 9t/ha)

Nos primeiros anos, não foi possível avaliar o efeito das doses de N e das fontes de adubo sobre a acidez trocável pelo fato de os valores de pH do solo estarem próximos a ou acima de 5,5, isto é, numa faixa de pH em que o Al trocável se encontra precipitado na forma de hidróxido (Sposito, 1989). Porém, a partir de 2003, com a queda dos valores de pH, o efeito acidificante do N-NA, o Al trocável tornou-se visível com o aparecimento de maiores teores na camada superficial (até 5cm), decrescendo em escala nas camadas subsuperficiais.

Observa-se que, mesmo após a aplicação de 3t/ha de calcário, a acidificação do solo nos tratamentos com N-NA continuou, e resultou em aumento nos teores de Al trocável em todas as camadas de solo. No maior nível de calagem (9t/ha), os teores de Al trocável também não sofreram grande redução nos dois primeiros anos após a aplicação da primeira parcela do corretivo (6t/ha), mantendo-se num patamar ainda considerado alto (Sociedade..., 2004), só decrescendo a partir de 2007, após a aplicação de mais 3t/ha de calcário. Com adubação orgânica, o Al trocável no solo com menor nível de calagem também não foi totalmente neutralizado, porém foi reduzido a teores abaixo de 1cmol/dm^3 . Já no maior nível de calagem, foi completamente neutralizado.

É importante destacar que a ação do ELS na neutralização do Al trocável deu-se por igual até 20cm de profundidade, o que é desejável quando o manejo é realizado em plantio direto, no qual o calcário não pode ser incorporado ao solo. Redução dos teores de Al trocável no solo após a aplicação de ELS em pastagem (Ceretta et al., 2003) e de bovinos em estudo de casa de vegetação (Ernani & Gianello, 1983) foi igualmente verificada. Por sua vez, Lourenzi et al. (2010), em estudo com sucessivas aplicações de ELS em culturas anuais em semeadura direta, observaram redução dos teores de Al e saturação por Al no solo até 20cm de profundidade, evidenciando a capacidade do ELS de reduzir a acidez trocável em profundidade.

Ao longo dos anos ficou evidente que, embora a aplicação de sucessivas doses de N-ELS tenha causado redução no pH do solo, que atingiu valores relativamente baixos (Sociedade..., 2004), a concentração de Al trocável não aumentou na mesma proporção, não sendo fator limitante para o crescimento das plantas. Esses resultados demonstram que o N-NA apresenta maior efeito acidificante no solo do que o N-ELS, reduzindo o pH e aumentando o teor de Al trocável em maior escala e profundidade do solo.

Do ponto de vista nutricional, esses resultados são relevantes, pois o principal fator que limita o crescimento das plantas em solo ácido, em geral, não é o pH do solo, mas o Al trocável (Mengel, 1991), que, quando em alta concentração, causa toxidez às plantas. Dessa forma, pode-se inferir que o efeito acidificante do N-ELS, além de ser menor em comparação ao N-NA, é menos prejudicial ao desenvolvimento das plantas, o que pode ser explicado pela complexação orgânica do Al trocável (Sposito, 1989).

2.1.2 Fósforo, potássio, cobre e zinco disponíveis

Para os teores de P, K, Cu e Zn no solo, por não haver interação significativa entre as fontes de adubo e os níveis de calagem, são apresentados dados médios dos dois níveis de calagem.

A Figura 7 exhibe os resultados do efeito de doses e fontes de N sobre os teores de P e K em quatro camadas de solo, amostrado em 2009, após 13 anos com uso continuado de N-NA e N-ELS. Observa-se que os teores de P no solo somente foram afetados pela aplicação de N-ELS, não se constatando influência da aplicação de N-NA sobre a disponibilidade desse nutriente. Os maiores teores foram encontrados na camada de até 2,5cm, onde, ao final de 13 anos com adubação orgânica, para cada kg/ha/cultivo de N-ELS aplicado, houve aumento de 0,22mg/dm³ de P. Já nas duas camadas subsequentes (2,5 a 5cm e 5 a 10cm) o incremento foi menor, respectivamente de 0,13 e 0,05mg/dm³ de P por kg/ha/cultivo de N-ELS aplicado, e na camada inferior (10 a 20cm) não se verificou aumento nos teores de P no solo.

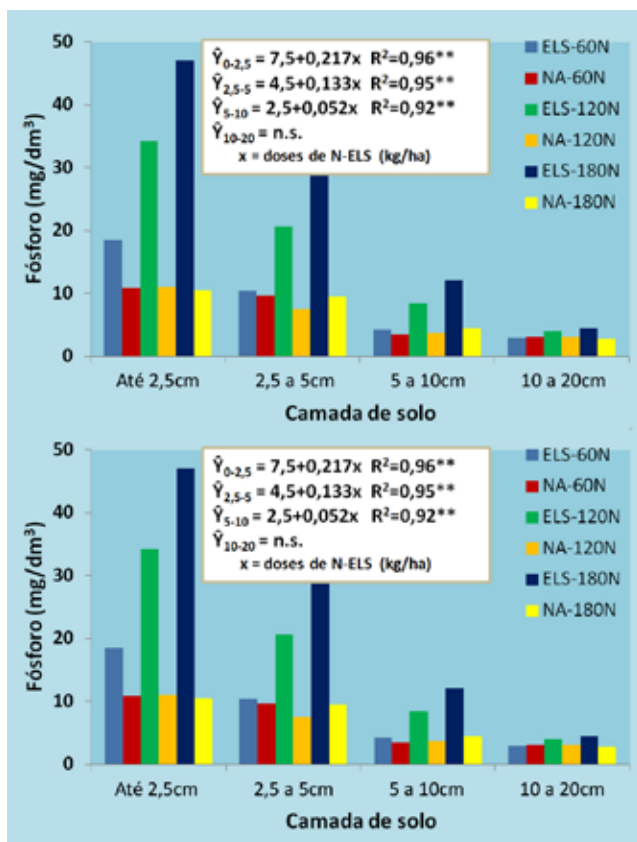


Figura 7. Teores de fósforo e potássio em diferentes camadas do solo, no ano de 2009, observados após aplicação de doses anuais de N, de 1996 a 1999, e semestrais, de 2000 a 2009, usando como fonte esterco líquido de suínos (ELS) e nitrato de amônio (NA), e dois níveis de calagem (1 = 3t/ha; 2 = 9t/ha), a partir de 2003

Nota: ** e * significativos a 1% e 5% respectivamente.

Maior acúmulo de P na camada superficial do solo também foi constatado em outros trabalhos com aplicação de ELS em pastagens (Assmann et al., 2009; Ceretta et al., 2003; King et al., 1990; Queiroz et al., 2004) e culturas anuais no sistema plantio direto (Comin et al., 2007; Konzen et al., 1997; Scherer et al., 2007). Eghball (2002) também não observou acúmulo de P abaixo da camada de 15cm em solo adubado com esterco bovino.

Porém, em comparação aos teores de P encontrados no mesmo tipo de solo com uso intensivo de ELS na adubação em milho para produção de grãos (Scherer et al., 2007; Scherer & Nesi, 2009b), os teores de P verificados nas diversas camadas do solo, após 13 anos com uso continuado de altas doses de N-ELS, são bem inferiores. Isso indica que, quando há retirada de toda a parte aérea das plantas do local, como acontece com cultivo de forrageiras para silagem ou feno, há menor acúmulo de P no solo, e maiores quantidades de ELS podem ser usadas para suprimento de N e outros nutrientes, sem maiores riscos ambientais.

Os teores de K na camada superficial do solo foram positivamente influenciados pela aplicação de N-ELS, não se observando efeito em profundidade (Figura 7), corroborando resultados de Assmann et al. (2009) e Scherer & Nesi (2009a), que também constataram aumento nos teores de K no solo apenas na camada superficial, quando da aplicação de ELS. Por outro lado, Ceretta et al. (2003) constataram diminuição dos teores de K no solo até a profundidade de 20cm com a aplicação de 40m³/ha por um período de quatro anos em uma pastagem natural. Os autores atribuíram o fato à alta taxa de absorção de K e sua exportação pela pastagem natural.

Mesmo tendo sido observada diferença no teor de K entre os tratamentos com N-NA e N-ELS nas duas camadas superficiais (até 2,5 e 2,5 a 5cm), não houve efeito de doses sobre a disponibilidade de K no solo (Figura 7). Esses resultados, em parte, podem ser atribuídos ao fato de as plantas reciclarem e exportarem maiores quantidades de K do solo com maior disponibilidade do nutriente. Trata-se do chamado “consumo de luxo”, ou seja, um consumo além das necessidades da planta, característico desse elemento (Mengel, 1991). Dessa forma, mesmo que haja uma adição de maiores quantidades de K com uso de N-ELS, o efeito acumulativo do K no solo fica diluído em consequência da maior exportação do nutriente pelas plantas em solo com maior disponibilidade.

Também se observou que, de modo geral, os valores de K encontrados nas camadas superficiais do solo são mais baixos quando comparados com os resultados de estudos realizados com aplicação de doses semelhantes de ELS na cultura do milho em plantio direto (Scherer et al., 2007).

Cabe ainda destacar que, à semelhança do P, o K se acumula em maior quantidade na camada superficial do solo, encontrando-se nessa camada em teor acima do nível crítico de 90mg/dm³ (Sociedade..., 2004). Contudo, nas camadas inferiores o teor de K decresce rapidamente e atinge valores inferiores ao nível crítico estabelecido. Isso mostra que o K, que foi adicionado via adubo mineral ou ELS, apresentou pouca mobilidade vertical no solo, não representando, nesse caso,

maior risco de perda por lixiviação.

Por outro lado, maior acúmulo de nutrientes na superfície do solo representa risco em áreas sujeitas a erosão, em que eles podem ser perdidos por escoamento superficial, como ficou provado no trabalho de Ceretta et al. (2005a) com aplicação de ELS em pastagem natural. O P, que geralmente se acumula em maior quantidade na camada superficial, quando perdido por escoamento superficial pode causar a eutrofização das águas, um problema cada vez mais frequente em regiões com uso intensivo de adubos fosfatados ou esterco de animais.

A Figura 8 exhibe os resultados do efeito de doses e fontes de N sobre os teores de cobre (Cu) e Zinco (Zn) em quatro camadas de solo, amostrado em 2009, após 13 anos com sucessivas aplicações de N-NA e N-ELS. Observa-se que o Cu apresenta uma distribuição mais uniforme nas quatro camadas amostradas, enquanto o Zn se acumula em maior quantidade na camada superficial (até 2,5cm) e em menor escala na camada subsequente, decrescendo drasticamente na camada inferior (10 a 20cm), corroborando resultados de Scherer et al., (2007) e Scherer & Nesi, (2009a).

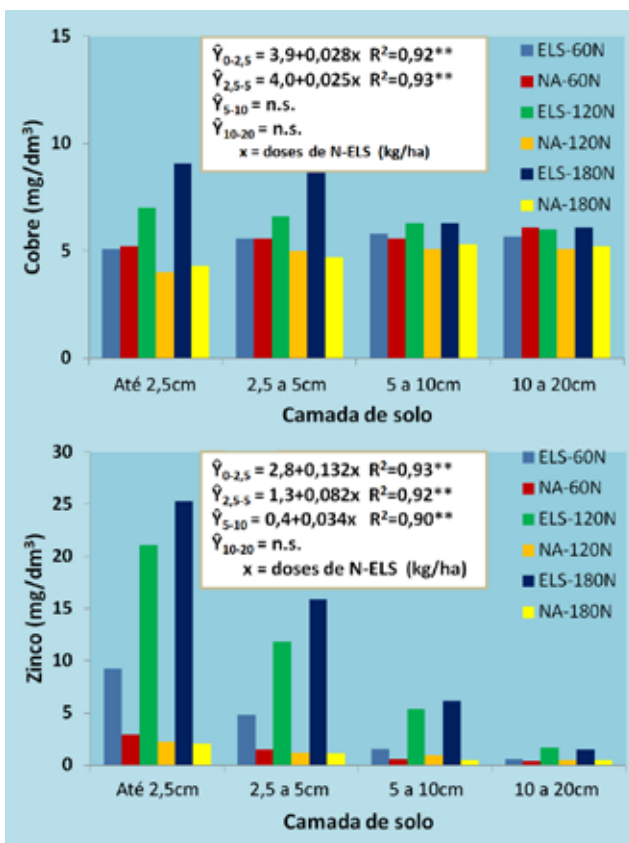


Figura 8. Teores de cobre e zinco em diversas camadas do solo, no ano de 2009, observados após aplicação de doses anuais de N, de 1996 a 1999, e semestrais, de 2000 a 2009, usando como fonte esterco líquido de suínos (ELS) e nitrato de amônio (NA), e dois níveis de calagem (1 = 3t/ha; 2 = 9t/ha), a partir de 2003

Nota: ** e * significativos a 1% e 5% respectivamente.

A disponibilidade de Cu e Zn no solo foi influenciada somente pela adubação orgânica, não tendo a adubação mineral (N-NA) ação sobre esses dois nutrientes. Na disponibilidade de Cu o efeito das doses de ELS foi significativo somente nas duas camadas superficiais (até 2,5cm e 2,5 a 5cm), com respectivos incrementos de 0,028 e 0,025mg/dm³ para cada kg/ha/cultivo de N-ELS aplicado ao longo de 13 anos. O teor de Zn, por sua vez, foi influenciado nas três primeiras camadas, com incremento de 0,12, 0,08 e 0,03mg/dm³ para cada kg/ha/cultivo de N aplicado ao longo de 13 anos nas camadas de até 2,5cm, 2,5 a 5cm e 5 a 10cm respectivamente.

Corroborando resultados aqui obtidos, acréscimos nos teores de Cu e Zn em solos com uso intensivo de ELS têm sido relatado em estudos com culturas anuais (Adeli et al., 2008; Konzen et al., 1997; Scherer et al., 2007) e pastagens (King et al., 1990; Queiroz et al., 2004).

3 Produção de forragem (matéria seca)

Os resultados apresentados e discutidos a seguir referem-se à produção de matéria seca (MS) das plantas forrageiras cultivadas em dois períodos distintos: um com avaliação de fontes, doses e épocas de aplicação de N, e outro com avaliação de fontes e doses de N em duas condições de acidez do solo.

Nas Figuras 9, 10 e 11 são apresentadas as produções de MS de aveia consorciada com azevém (Av/Az), milheto e sorgo do período inicial (2000 a 2003) com cultivo de forrageiras, em que, além de fontes e doses, foram avaliadas épocas de aplicação de N.

A aveia consorciada com azevém apresentou resposta positiva à aplicação de doses de N, variável com a fonte de adubo, época de aplicação do N e corte realizado (Figura 9). No primeiro corte (Figura 9a), a produção de MS apresentou relação linear positiva com os níveis de N-ELS, e quadrática quando da utilização de N-NA, com máximo rendimento de 1,3t/ha de MS na dose 147kg/ha de N. Com a utilização de adubo orgânico, foram obtidos incrementos lineares de 6,5kg/ha de MS para cada quilo de N-ELS aplicado.

A resposta das gramíneas de estação fria à adubação residual foi baixa, elevando em 0,91 e 2,58kg/ha a produtividade de MS por kg/ha de N-NA e N-ELS aplicado na cultura anterior. Essa baixa resposta pode ser explicada, em parte, pela alta produtividade das plantas tropicais, que absorveram e exportaram quantidades maiores do N, sendo bastante eficientes no aproveitamento do N adicionado (Restle et al., 2002).

No segundo corte (Figura 9b), a produção de MS apresentou resposta linear para as doses de N aplicadas na semeadura (E1), e quadrática para as doses aplicadas após o primeiro corte (E2). Foram obtidos incrementos de 6,82 e 7,22kg/ha de MS respectivamente para cada quilo de N-ELS e N-NA aplicado na semeadura. Com aplicação do adubo nitrogenado após o primeiro corte, o rendimento máximo seria alcançado com 160 e 157kg/ha de N-ES e N-NA, atingindo rendimentos de 3,7 e 3,5t/ha

de MS respectivamente.

Os resultados obtidos demonstram a importância da adubação nitrogenada no desenvolvimento das plantas de aveia e azevém e a boa eficiência do N-ELS em comparação ao N-NA, mostrando que o adubo orgânico pode substituir com vantagem o adubo mineral, pois, além do N, tem capacidade de fornecer outros elementos às plantas e, normalmente, com custo menor. Na Figura 10 são apresentadas as funções de produção ajustadas para os rendimentos médios de MS dos dois anos com milheto (2001-02 e 2002-03). Os dados são apresentados por corte, época de aplicação e fonte de adubo.

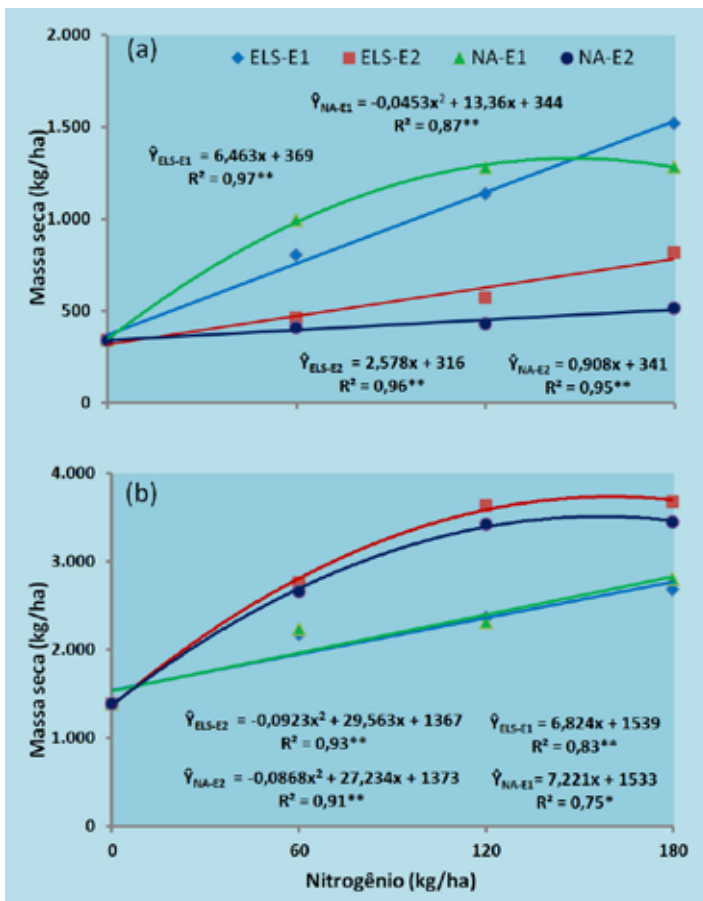


Figura 9. Produção de massa seca (a) no primeiro corte e (b) no segundo corte de aveia + azevém (médias de três anos) em função da aplicação de doses de N em duas épocas (E1 = plantio e E2 = após o 1º corte), usando como fonte esterco líquido de suínos (ELS) e nitrato de amônio (NA). Resultados do primeiro período, sem calagem

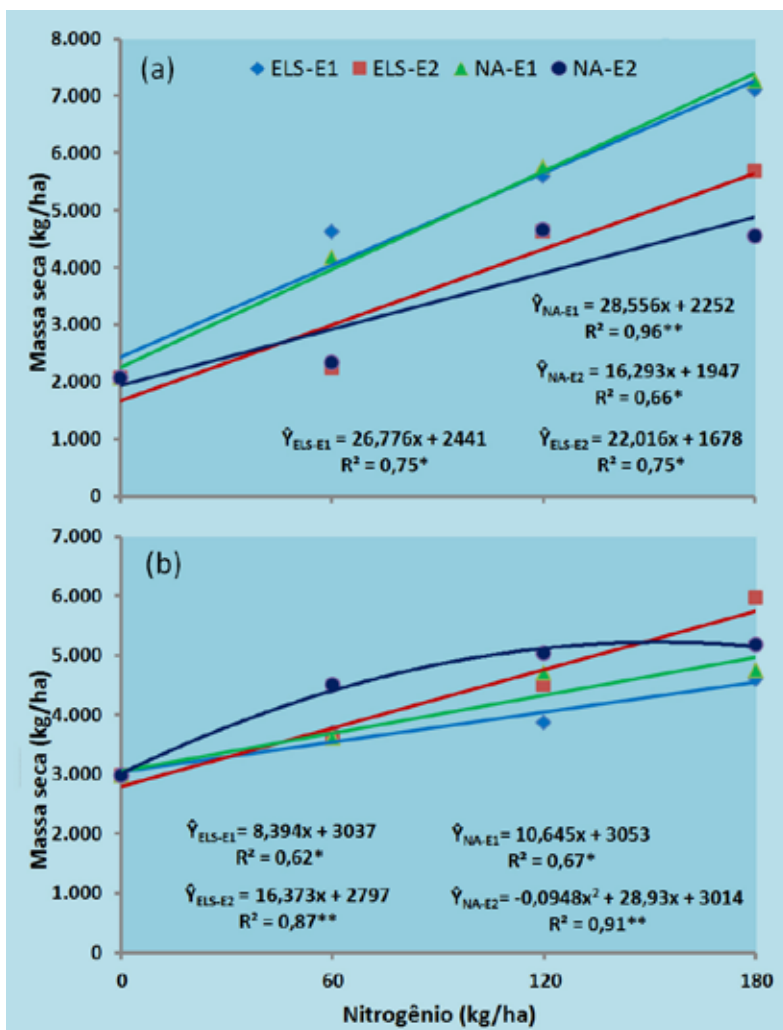


Figura 10. Produção de massa seca (a) no primeiro corte e (b) no segundo corte de milho (médias de dois anos) em função da aplicação de doses de N em duas épocas (E1 = plantio, e E2 = após o 1º corte), usando como fonte esterco líquido de suínos (ELS) e nitrato de amônio (NA). Resultados do primeiro período, sem calagem

Nota: ** e * significativos a 1% e 5% respectivamente.

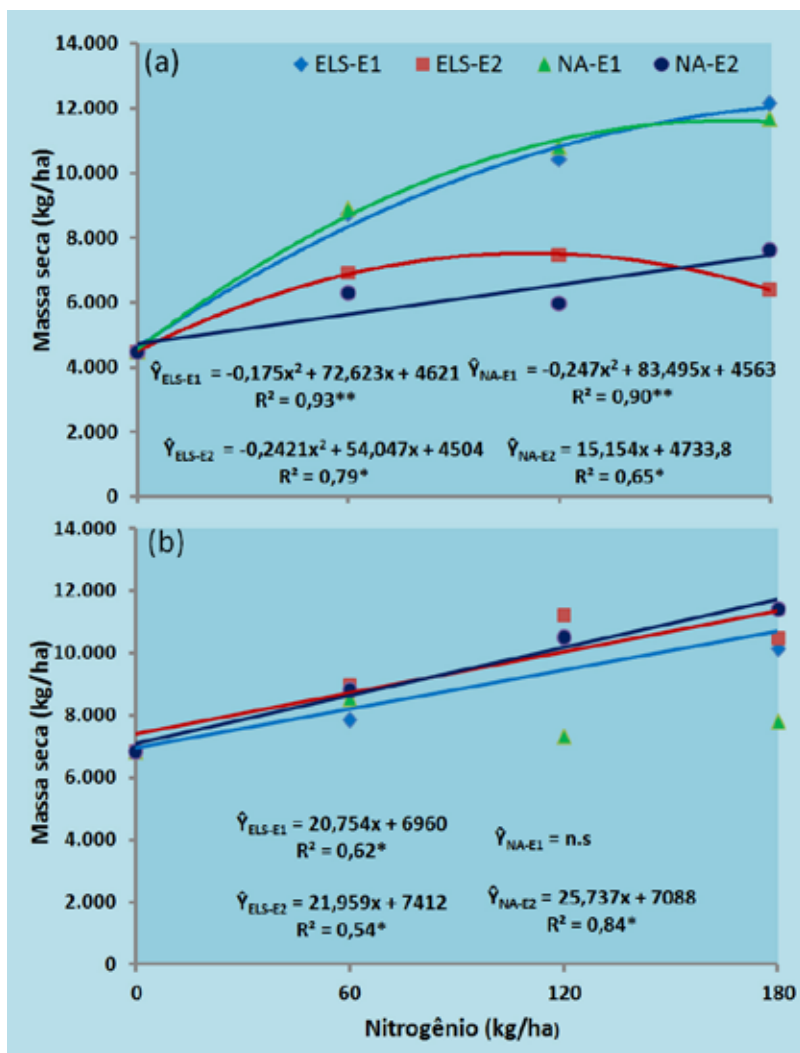


Figura 11. Produção de massa seca (a) no primeiro corte e (b) segundo corte de sorgo em função da aplicação de doses de N em duas épocas (E1 = plantio, e E2 = após o 1º corte), usando como fonte esterco líquido de suínos (ELS) e nitrato de amônio (NA). Resultados do primeiro período, sem calagem

Nota: ** e * significativos a 1% e 5% respectivamente.

No primeiro corte (Figura 10a), a resposta da cultura foi linear, tanto para aplicação de N na semeadura (E1) quanto para o efeito residual do N aplicado na cultura anterior (E2). Os incrementos no rendimento de MS foram de 26,8 e 28,6kg/ha de MS e 16,3 e 22kg de MS respectivamente para cada kg/ha de N-ELS e N-NA aplicado na semeadura (E1) e na cultura anterior (E2). A alta produtividade de MS e a resposta à adubação aplicada na cultura anterior (16,3 e 22kg de MS/kg de N) demonstram que boa parte do N aplicado na cultura de inverno (av/az) ainda estava imobilizada ou disponível no solo e foi aproveitada pelo milheto, cultivado em sucessão.

A adubação aplicada na implantação do milheto também promoveu aumento significativo no rendimento de MS da rebrotação (Figura 10b). Nesse segundo corte, cada quilo de N-ELS e N-NA resultou em acréscimo 8,4 e 10,6kg/ha de MS adicional respectivamente. Na soma dos dois cortes da época 1, foram obtidos, respectivamente, 35,2 e 39,2kg de MS/kg de N-ELS e N-NA, aplicados na semeadura. Resultados semelhantes foram obtidos por Medeiros et al. (1978) com rendimento de 34 a 53kg de MS/kg de N para níveis de 100 a 300kg/ha de N, e por Moojen (1993), que obteve 31kg de MS/kg de N para níveis de 150 a 300kg/ha de N.

A adubação nitrogenada aplicada logo após o primeiro corte do milheto também proporcionou aumentos lineares de 16,4 e 11,9kg/ha de MS para cada quilo de N-ELS e N-NA respectivamente (Figura 10b). No geral, as produções de MS alcançadas com adubação nitrogenada estão dentro da faixa de 15 a 20t/ha, obtidas com gramíneas forrageiras tropicais em condições ambientais favoráveis. Medeiros et al. (1978) obtiveram resposta linear positiva até doses de 300kg/ha de N, com rendimentos de 8 a 18t/ha, e Moojen (1993) obteve produções de MS que variaram de 7 a 16t/ha, com doses de até 300kg/ha de N.

O sorgo-forrageiro também respondeu positivamente à aplicação de N. No primeiro corte (Figura 11a), as respostas às doses de N aplicado no plantio (E1) puderam ser explicadas por modelos quadráticos, com rendimentos máximos de MS de 11,6 e 11,9t/ha, que teoricamente seriam atingidos com a aplicação de 169 e 207kg/ha de N-NA e N-ELS respectivamente. Da mesma forma como o milheto, o sorgo respondeu positivamente ao N aplicado na cultura anterior (av/az), com incremento de 15,1kg de MS para cada quilo de N-NA aplicado.

No segundo corte (Figura 11b), diferentemente do observado no primeiro, o comportamento foi linear para as duas fontes de adubo, com exceção do tratamento com aplicação de N-NA na semeadura, que não foi significativo. Os incrementos de MS obtidos foram de 20,7kg/ha para aplicação de N-ELS na semeadura e 21,9 e 25,7kg/ha de MS para cada quilo de N-ELS e N-NA aplicado após o primeiro corte respectivamente. Esse comportamento produtivo do sorgo-forrageiro e do milheto corrobora resultados obtidos por diversos autores (Heringer & Moojen, 2002; Medeiros et al., 1978; Subba et al., 1991), com resposta linear em gramíneas forrageiras tropicais até a aplicação de 300kg/ha de N.

Na soma dos dois cortes, os resultados médios das duas épocas (E1 e E2) confirmam o bom desempenho das plantas forrageiras com a aplicação de N-ELS, que apresentou eficiência semelhante ao N-NA (Figura 12). As forrageiras de inverno (av/az)

apresentaram resposta linear para aplicação de N-ELS, com incremento de 14,4kg de MS/kg de N, e resposta quadrática para uso de N-NA. Nesse caso, o rendimento máximo de 4.013kg/ha de MS seria teoricamente atingido com a aplicação de 159kg/ha de N.

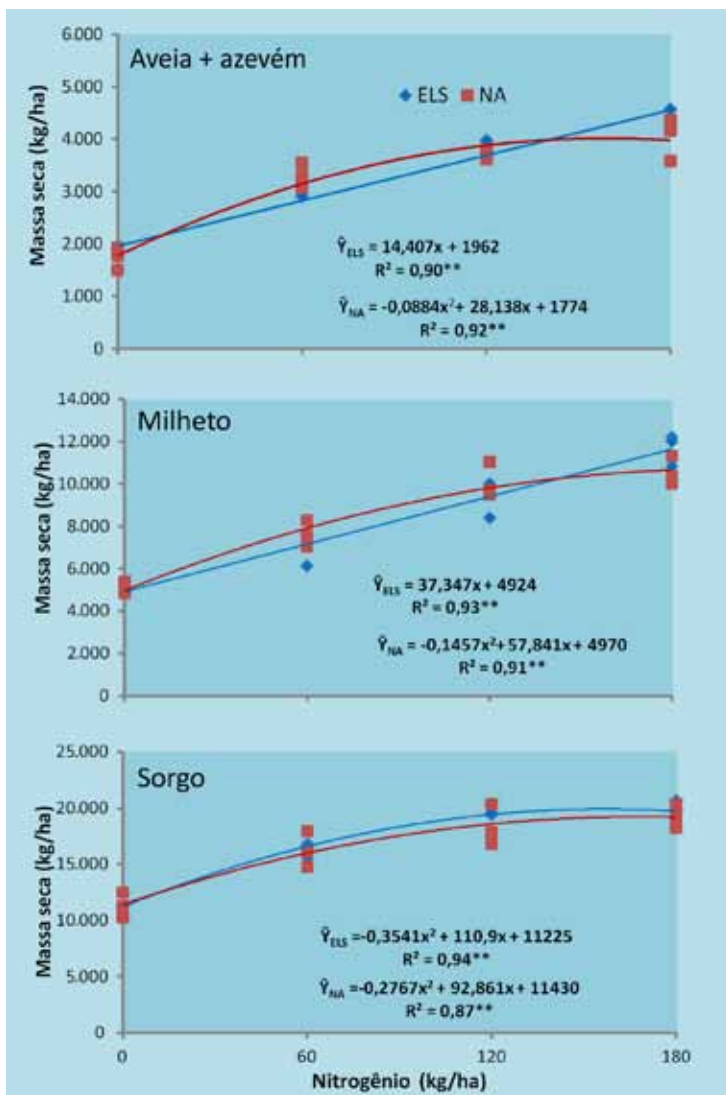


Figura 12. Produção de massa seca das plantas forrageiras em função da aplicação de doses de nitrogênio de duas fontes de adubo, esterco líquido de suínos (ELS) e nitrato de amônio (NA). Resultados do primeiro período, sem calagem, com soma dos cortes e média de épocas e das repetições

Nota: ** e * significativos a 1% e 5% respectivamente.

O milho seguiu a mesma tendência das culturas de inverno e também apresentou resposta linear às doses de N-ELS e resposta quadrática para aplicação de N-NA. Para o N-ELS, o incremento foi de 37,3kg/ha de MS para cada quilo aplicado e, no caso do uso de N-NA, o rendimento máximo de 10.710kg/ha de MS seria teoricamente atingido com a aplicação de 198kg/ha de N.

O sorgo, por sua vez, apresentou resposta quadrática tanto à aplicação de N-NA como à de N-ELS. Os rendimentos máximos seriam teoricamente atingidos com 157 e 168kg/ha de N-ELS e N-NA respectivamente. Esses resultados mostram que o N-ELS, em sistema de sucessão de gramíneas forrageiras, apresentou eficiência similar à do N-NA, podendo substituir com vantagem essa fonte, pois, além do N, supre vários outros nutrientes essenciais às plantas. Esse bom desempenho do esterco líquido pode ser atribuído à grande proporção de N mineral que apresenta (Scherer et al., 1996) e à mineralização gradual do N orgânico durante o ciclo da cultura.

Na Figura 13 são apresentados os resultados de rendimento de MS das plantas forrageiras (aveia, milho e sorgo) do segundo período, após a correção da acidez do solo em dois níveis. As análises foram realizadas e os resultados são apresentados com base na soma da produção dos dois cortes de aveia e três de milho e de sorgo. São apresentados rendimentos médios de MS dos anos, pois não houve influência do ano na resposta das culturas aos tratamentos aplicados.

Os rendimentos de forragem, na soma dos cortes, das culturas de aveia e milho, são semelhantes aos obtidos no período anterior (Figura 12). Já o sorgo apresentou, nesse segundo período de avaliação, menor rendimento médio de MS em comparação ao período anterior. Isso pode ter ocorrido devido à maior fertilidade inicial do solo e a condições climáticas favoráveis daquele ano, que propiciaram produtividades acima de 10t/ha de MS, mesmo sem aplicação de adubo nitrogenado.

A análise de regressão polinomial da produção de MS de aveia, em função dos níveis de N e de calagem, apresentou significância para efeito quadrático conforme equações apresentadas na Figura 13. No menor nível de calagem o rendimento de MS seria maximizado com a aplicação de 210 e 128kg/ha de N-ELS e N-NA respectivamente, e no maior nível de calagem, com a aplicação de 213 e 169kg/ha de N-ELS e N-NA respectivamente. Esses resultados caracterizam maior eficiência do N-NA em comparação ao N-ELS na produtividade dessa forrageira em solo com acidez corrigida.

O milho também respondeu positivamente à aplicação de N, apresentando, em ambos os níveis de calagem, resposta linear à aplicação de N-ELS e quadrática ao N-NA. O incremento foi de 34,5 e 38,6kg/ha de MS para cada quilo de N-ELS aplicado no solo com 3 e 9t/ha de calcário respectivamente. Nesses mesmos níveis de calcário, o rendimento máximo de MS, de 8.360 e 9.445kg/ha, seria alcançado com a aplicação de 136 e 172kg/ha de N-NA respectivamente.

O sorgo apresentou produtividade semelhante à do milho. As funções de produção ajustadas para expressar a dependência dos níveis de N indicam resposta linear para aplicação de N-ELS, no menor nível de calagem, com incremento de

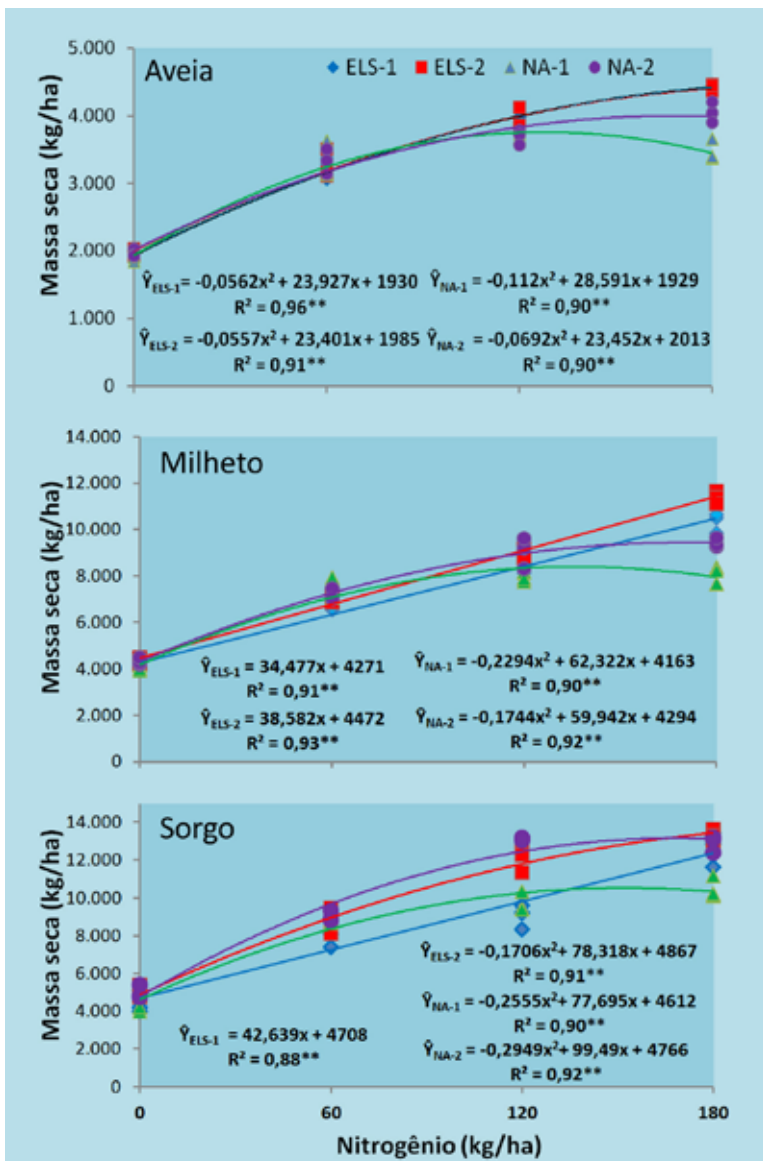


Figura 13. Produção de massa seca de aveia (médias de 6 anos), de milheto (média de 4 anos) e de sorgo (média de 3 anos) em função da aplicação de doses de N, usando como fonte esterco líquido de suínos (ELS) e nitrato de amônio (NA) e dois níveis de calcário (1 = 3t/ha; 2 = 9t/ha)

Nota: ** e * significativo a 1% e 5% respectivamente.

42,6kg/ha de MS para cada quilo de N aplicado e resposta quadrática dos demais tratamentos.

O rendimento de MS com aplicação de N-ELS, no maior nível de calagem, seria maximizado (13.855kg/ha) com aplicação de 210kg/ha de N. Com uso de N-NA, a produção máxima, de 10.518 e 13.580kg/ha de MS, em solo com menor e maior nível de calagem, seria alcançada com a aplicação de 152 e 169kg/ha de N respectivamente. Essas quantidades de N-NA estimadas para maximizar o rendimento de MS são próximas daquelas estimadas para a cultura do milho (136 e 172kg/ha), uma espécie com características e exigências nutricionais bastante semelhantes às do sorgo-forrageiro.

Pela observação das equações ajustadas para os níveis de N das duas fontes de adubo, verifica-se que, no menor nível de calagem, as produtividades são relativamente menores e com menor resposta das culturas à aplicação de N-NA em comparação ao N-ELS. Esses resultados estão condizentes com o observado na análise química do solo após sucessivas aplicações de N-NA e N-ELS (Figuras 5 e 6), em que o pH do solo diminuiu e os teores de Al trocável aumentaram em maior escala com a aplicação do adubo mineral.

Observa-se, também, que o ponto de máxima eficiência técnica com aplicação de N-NA, nessa condição de maior acidez do solo, ficou bem abaixo do verificado no solo menos ácido. Isso se deve principalmente à queda da produtividade das culturas no tratamento com aplicação da dose máxima (180kg/ha de N-NA), que acarretou o aparecimento de maiores teores de Al trocável e, por conseguinte, maior efeito nocivo deste sobre o desenvolvimento do sistema radicular e absorção de nutrientes pelas plantas (Mengel, 1991).

Por outro lado, a resposta das culturas à adubação orgânica nos dois níveis de calagem foi similar, indicando que a absorção de N e o efeito dessa fonte foram menos influenciados pela calagem do que a adubação mineral. A boa produtividade das culturas com adubação orgânica, mesmo em solo com pH baixo (ao redor de 5), pode ser atribuída ao baixo teor de Al trocável encontrado nessa condição de acidez do solo (Figura 6). A acidez trocável, constituída na sua maior parte por Al, é, na maioria dos solos, o principal fator limitante do desenvolvimento das plantas cultivadas (Mengel, 1991).

Esses resultados são relevantes para a manutenção da fertilidade dos solos e devem ser considerados quando da tomada de decisão sobre a correção da acidez do solo com calcário em áreas intensivamente adubadas com N-ELS ou com N-NA.

4 Eficiência da adubação nitrogenada

Um parâmetro comumente utilizado para medir a eficiência da adubação é a eficiência de aproveitamento do nutriente pelas plantas, ou seja, a conversão desse nutriente em MS.

As equações ajustadas (Figura 13) mostram que a eficiência de aproveitamento

do N pelas plantas, na maioria dos casos, foi decrescente com o aumento das doses de N aplicadas (efeito quadrático), corroborando resultados de outros autores (Lupatini et al., 1998; Moreira et al., 2001; Heringer & Moojen, 2002), que também obtiveram menor eficiência com aplicação de maiores doses de N.

Com base no coeficiente angular das equações lineares, ou em índice estimado com base na dose de 120kg/ha de N, que se situa na faixa ascendente da curva de produção ajustada (efeito linear), os valores de eficiência para as três culturas foram bastante variáveis. Com aveia foram obtidos 17,5 e 16,7kg MS/kg N-ELS, respectivamente no menor e no maior nível de calagem, e 15,2kg MS/kg N-NA em ambos os níveis de calagem. Com milho foram obtidos 34,5 e 38,6kg MS/kg N-ELS, e 34,8 e 39,1kg MS/kg N-NA no menor e no maior nível de calagem respectivamente. Já com sorgo foram obtidos 42,6 e 57,9kg MS/kg N-ELS, e 47,1 e 64,1kg MS/kg N-NA aplicados no solo com menor e maior nível de calagem respectivamente. Observa-se que nas culturas de aveia e milho o N-ELS apresentou praticamente a mesma eficiência do N-NA, independentemente do nível de calagem. Já na cultura do sorgo, a eficiência do N-NA em comparação ao N-ELS foi maior e variável com o nível de calagem. Isso mostra que o sorgo é uma cultura mais suscetível ao efeito da acidez do solo.

Em geral, os resultados obtidos com as três culturas mostram que até a aplicação de 120kg/ha a eficiência do N-NA e do N-ELS não difere entre os níveis de calagem. Porém, o mesmo não acontece quando da aplicação da maior dose de N-NA (180kg/ha) no menor nível de calagem, em que a eficiência do adubo mineral é decrescente. O principal fator responsável por essa menor eficiência, como já foi relatado anteriormente, provavelmente seja o alto teor de Al trocável, observado em consequência do maior efeito acidificante dessa fonte de adubo (Figura 6).

Corroborando os resultados aqui obtidos, Moreira et al. (2001) obtiveram 28,1, 17,1 e 10,9kg MS de aveia para cada quilo de N aplicado nos níveis 50, 100 e 200kg N/ha. Por sua vez, Lupatini et al. (1998), avaliando níveis de 150 e 300kg/ha de N, obtiveram 29,5 e 20,1kg MS de aveia por quilo de N aplicado, uma eficiência pouco superior, possivelmente alcançada em função da aplicação parcelada do adubo.

5 Absorção e acúmulo de nutrientes na forragem

5.1 Nitrogênio

A quantidade de N acumulada pela aveia na MS da parte aérea aumentou linearmente com as doses de N-ELS e de forma quadrática com as doses de N-NA aplicadas. Com uso de N-ELS foi obtido aumento médio de 0,41 e 0,45kg/ha para cada quilo de N aplicado no solo com menor e maior nível de calagem respectivamente, e no caso do N-NA, o acúmulo máximo de 110 e 122kg/ha de N na MS seria obtido com a aplicação de 144 e 186kg/ha de N-NA respectivamente, em solo com maior (NA-1) e menor acidez (NA-2) (Figura 14).

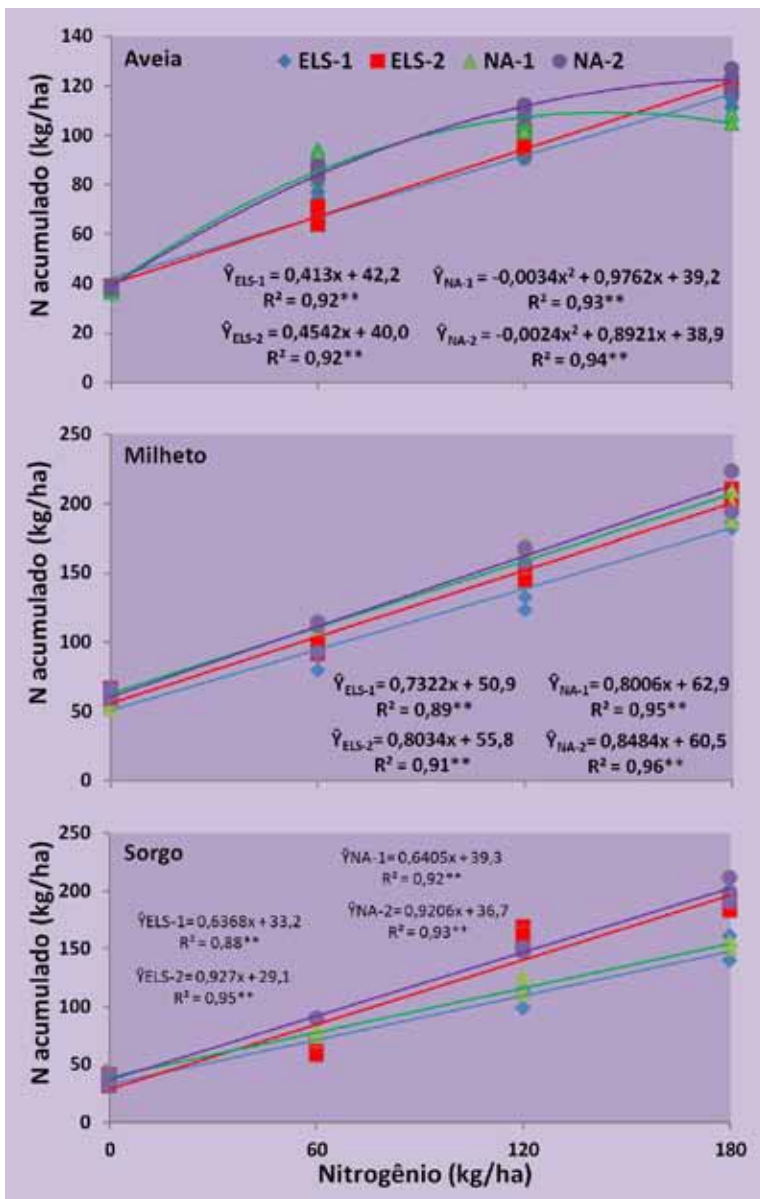


Figura 14. Nitrogênio (N) acumulado na forragem na soma dos cortes com aplicação de doses de N na forma de nitrato de amônio (NA) e esterco líquido de suínos (ELS) em dois níveis de calagem (1 = 3t/ha; 2 = 9t/ha). Valores médios de 4 anos (aveia), 3 anos (milheto) e 2 anos (sorgo)

Nota: ** e * significativos a 1% e 5% respectivamente.

O acúmulo de N na MS de milho apresentou comportamento linear tanto para a aplicação de N-ELS como para N-NA em ambos os níveis de calagem. No menor nível, o acúmulo de N na MS foi de 0,73 e 0,8kg/ha para cada quilo de N aplicado como ELS e NA respectivamente, e no maior nível o acúmulo de N foi de 0,8 e 0,85kg/ha para cada kg/ha de N aplicado como ELS e NA respectivamente.

O sorgo, à semelhança do milho, também apresentou acúmulo linear positivo de N, independentemente do nível de calagem e da fonte de adubo usada. No menor nível o acúmulo de N na MS foi de 0,64kg/ha para cada quilo de N aplicado, e no maior nível o acúmulo de N na MS foi de 0,93 e 0,92kg/ha para cada kg/ha de N-ELS e N-NA respectivamente. Em comparação ao milho, a eficiência de aproveitamento do N pelo sorgo em solo mais ácido foi menor, indicando maior suscetibilidade da cultura aos fatores de acidez do solo, o que também pode ser comprovado pela menor produção de MS nessa condição (Figura 13).

A maioria dos trabalhos com plantas forrageiras demonstra comportamento semelhante ao encontrado no experimento com maior acúmulo de N pelas forrageiras tropicais em relação às de clima temperado (Assmann et al., 2009; Heringer & Moojen, 2002; Lupadini et al., 1998), embora com variação nos teores de N na MS.

O coeficiente angular das equações ajustadas para níveis de N-ELS nos dois níveis de calagem (Figura 14) aponta uma recuperação aparente de N entre 41% e 45% pela aveia, entre 73% e 80% pelo milho e entre 64% e 93% pelo sorgo.

Os valores de recuperação aparente de N pelas duas forrageiras tropicais aqui obtidos são muito próximos dos encontrados por Paul & Beauchamp (1995) com milho, que foi de 83%, e Hering & Moojen (2002) com milho, com taxas de recuperação de N que variaram de 70% a 168%. Os autores atribuem essa alta taxa de recuperação de N, acima de 100%, à mineralização da matéria orgânica do solo pela adição de N. Por sua vez, Lupadini et al. (1998), com aveia/azevém, obtiveram uma recuperação de 75,8% e 84,2% do N aplicado nas doses de 150 e 300kg/ha respectivamente.

5.2 Fósforo e potássio

A absorção e o acúmulo de P na MS de cada cultura foram positivamente influenciados pela adubação nitrogenada. Maiores teores foram observados com aplicação de N-ELS (Figura 15). Resultados semelhantes com aplicação de ELS foram relatados por Assmann et al. (2009) e Mondardo et al. (2011) em aveia-preta; Ceretta et al. (2005b) em milho; e Subba et al. (1991) em sorgo-forrageiro.

A quantidade de P acumulada na fitomassa das três culturas respondeu de forma linear às doses de N aplicadas, com exceção do tratamento NA-1, que apresentou efeito quadrático, seguindo a mesma tendência para a produção de MS das culturas, em que foi verificada queda no rendimento com aplicação da maior dose de N-NA (Figura 13).

O acúmulo de P na MS com adubação orgânica, no menor e no maior nível de calagem, para cada 100kg/ha de N-ELS aplicados, foi de 6,2 e 6,3kg/ha na aveia,

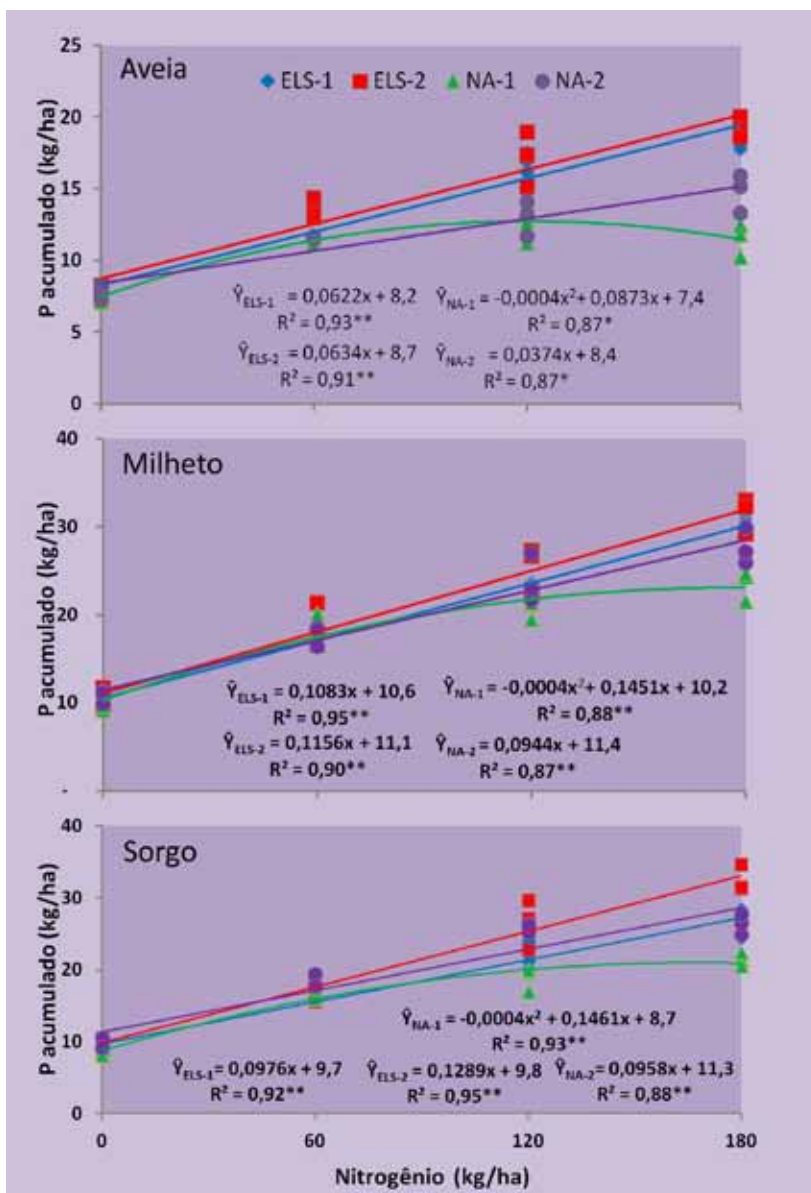


Figura 15. Fósforo (P) acumulado na forragem em função da aplicação de nitrogênio (N) na forma de esterco líquido de suínos (ELS) e de nitrato de amônio (NA) em dois níveis de calagem (1 = 3t/ha; 2 = 9t/ha). Valores médios de 4 anos (aveia), 3 anos (milheto) e 2 anos (sorgo)

Nota: ** e * significativos a 1% e 5% respectivamente.

10,8 e 11,5kg/ha no milho e 9,7 e 12,8kg/ha no sorgo respectivamente. Com uso de N-NA no maior nível de calagem, o acúmulo foi de 3,7, 9,4 e 9,5kg/ha na MS de aveia, milho e sorgo respectivamente, uma diferença média de aproximadamente 5kg P/ha/ano a favor do uso de N-ELS. Os menores percentuais de recuperação de P em relação ao N, aliados a sua baixa mobilidade no solo, mostram o potencial de acúmulo deste no solo, principalmente nas camadas superficiais (Ceretta et al., 2003; Scherer et al., 2007). O baixo percentual de recuperação de P é justificado pela menor quantidade exigida pelas plantas forrageiras em comparação às gramíneas produtoras de grãos (Scherer et al., 2007).

Entre os nutrientes avaliados, o K foi, quantitativamente, o mais exportado pelas plantas forrageiras, alcançando valores acima de 200kg/ha com aplicação de 180kg/ha de N-ELS nas duas espécies tropicais (Figura 16).

Da mesma forma como o observado para P, a quantidade de K acumulada na fitomassa das plantas respondeu de forma linear às doses de N aplicadas, com exceção do tratamento N-NA-1. Com uso de N-ELS, o acúmulo de K na MS em solo com menor e com maior nível de calagem foi de 48 e 46kg/ha na aveia, 65 e 75kg/ha no milho e 74 e 86kg/ha no sorgo respectivamente, para cada 100kg/ha de N-ELS aplicados. Assmann et al. (2009), avaliando doses de ELS em pastagem anual de inverno, também observaram aumento do teor de K na parte aérea da pastagem, com acúmulo médio de 58kg/ha de K com uso de 120m³/ha de ELS.

Com uso de N-NA no maior nível de calagem, o acúmulo de N foi de 29,54 e 56kg/ha na MS para cada 100kg/ha de N aplicados na aveia, milho e sorgo respectivamente. A quantidade de K acumulada na MS com aplicação de N-NA no menor nível de calagem (N-NA-1) apresentou efeito quadrático em decorrência do maior efeito acidificante dessa fonte de adubo, que influenciou negativamente a absorção de nutrientes e a produção de MS das culturas na maior dose (Figura 13).

Maiores quantidades de K foram acumuladas na MS e exportadas na forragem, em torno de 40kg/ha/ano a mais, com uso de N-ELS em comparação ao N-NA, e como a produção de MS com as duas fontes de adubo foi semelhante, a maior absorção de K indica um “consumo de luxo” por parte das plantas em solo com maior disponibilidade do nutriente. Isso, em parte, justifica o nivelamento dos teores de K no solo, observado com a aplicação de doses de N-ELS e de N-NA (Figura 7).

5.3 Cobre e zinco

A absorção e o acúmulo de zinco (Zn) na forragem foram positivamente influenciados pela adubação nitrogenada (Figura 17). Maiores quantidades de Zn foram acumuladas na MS com aplicação de N-ELS, não se verificando o mesmo com o cobre (Cu), que não foi influenciado pela aplicação do adubo orgânico. Os resultados encontrados são coerentes com os obtidos por Mondardo et al. (2011), que, quando da aplicação de até 50m³/ha de ELS no cultivo de aveia-preta, verificaram aumento linear no teor de Zn no tecido e não constataram aumento nos teores de Cu nas mesmas condições.

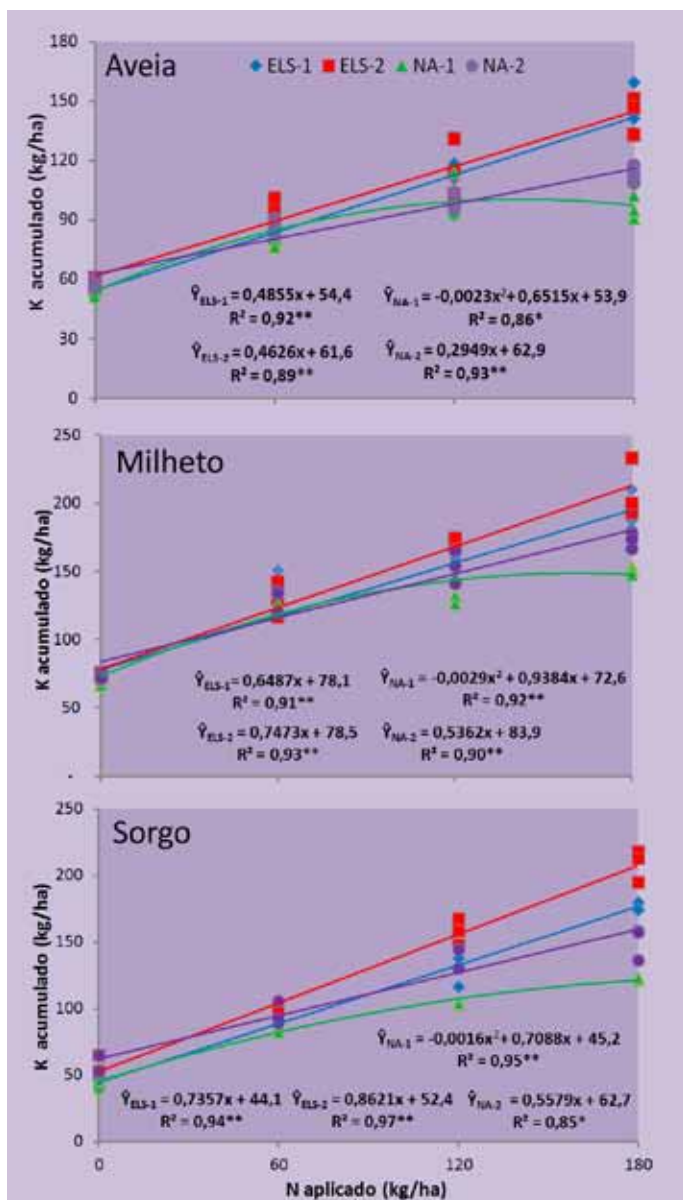


Figura 16. Potássio (K) acumulado na forragem em função da aplicação de nitrogênio (N) na forma de esterco líquido de suínos (ELS) e de nitrato de amônio (NA) em dois níveis de calagem (1 = 3t/ha; 2 = 9t/ha). Valores médios de 4 anos (aveia), 3 anos (milheto) e 2 anos (sorgo)

Nota: ** e * significativos a 1% e 5% respectivamente.

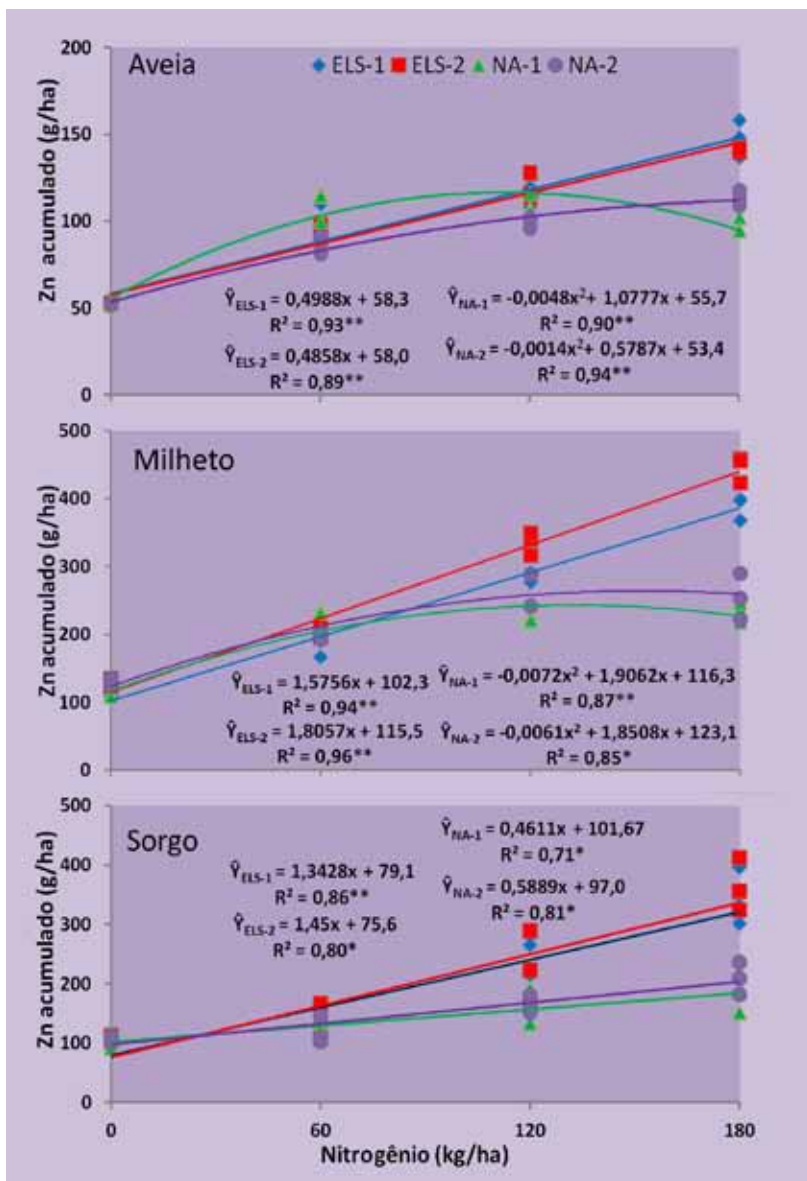


Figura 17. Zinco (Zn) acumulado na forragem em função da aplicação de nitrogênio (N) na forma de esterco líquido de suínos (ELS) e de nitrato de amônio (NA) em dois níveis de calagem (1 = 3t/ha; 2 = 9t/ha). Valores médios de 4 anos (aveia), 3 anos (milheto) e 2 anos (sorgo)

Nota: ** e * significativos a 1% e 5% respectivamente.

O acúmulo de Zn na forragem, com as doses de N-NA, apresentou comportamento quadrático nas culturas de aveia e milho, e linear na cultura do sorgo. Um acúmulo decrescente de Zn na MS caracteriza a existência do efeito de diluição do nutriente na MS quando este não é aplicado ao solo. O contrário foi verificado com a aplicação de N-ELS, que apresenta, em sua composição, quantidades relativamente altas de Zn (Tabela 1), fazendo com que a exportação na forragem também fosse maior, chegando, no caso do milho, a 180g/ha de Zn por cultivo.

Maiores quantidades de Zn foram acumuladas na MS das culturas em solo menos ácido, contrariando o que seria esperado em função da disponibilidade do elemento no solo, que, teoricamente, diminui com o aumento de pH (Mengel, 1991; Sposito, 1989). Porém, no presente trabalho, esse maior acúmulo de Zn na forragem por área pode ser atribuído à maior produção de MS das culturas em solo com acidez corrigida.

O uso do esterco, um adubo multifuncional, para suprimento de N às plantas afeta a composição química (nutricional) da biomassa, influenciando positivamente os teores de proteína, macro- e micronutrientes, o teor de nutrientes digestíveis totais (NDT) e a qualidade da forragem. Mondardo et al. (2011) relatam que, além de melhorar a composição químico-bromatológica da forragem de aveia produzida, a aplicação de ELS aumentou a relação folha:colmo e reduziu os teores de fibra em detergente ácido (FDA). Scheffer-Basso et al. (2008), em pastagem natural, e Adeli & Varco (2001), em gramíneas estivas, também observaram redução nos teores de FDA com aumento das quantidades de ELS aplicadas.

O uso de ELS influencia marcadamente o nível de fertilidade do solo e a produção e a composição da matéria seca das plantas forrageiras. Em geral, a adubação orgânica propicia condições mais favoráveis de fertilidade do solo, fazendo com que as plantas revelem melhor composição química, principalmente em termos de elementos minerais, proporcionando também um melhor valor nutritivo da forragem ingerida (Mondardo et al., 2011).

Em propriedades com abundante disponibilidade de ELS, uma maior exportação de nutrientes pelas plantas forrageiras é desejável, pois, além de melhorar a qualidade da forragem, evita o acúmulo de nutrientes no solo, que, com o uso continuado de ELS, poderia trazer futuros problemas para a fertilidade do solo e ao meio ambiente em áreas intensivamente adubadas com dejetos animais (Ceretta et al., 2005a).

Por outro lado, o sistema com uso continuado de N-NA, um adubo nitrogenado com característica acidificante, e remoção total da forragem exige atenção especial no controle da acidez do solo e na reposição dos nutrientes exportados.

6 Teor de proteína na forragem

A proteína bruta (PB) é um dos principais componentes da forragem e de fundamental importância na nutrição dos ruminantes. Seu teor, geralmente, é

influenciado pela adubação nitrogenada e pela disponibilidade de N no solo.

Na Figura 18 são apresentados os teores de PB na forragem de aveia e de milho. Observa-se que a adubação nitrogenada aumentou linearmente os teores de PB na MS das forrageiras, com incrementos que variam de 3,7% a 5,1% para cada 100kg/ha de N aplicado.

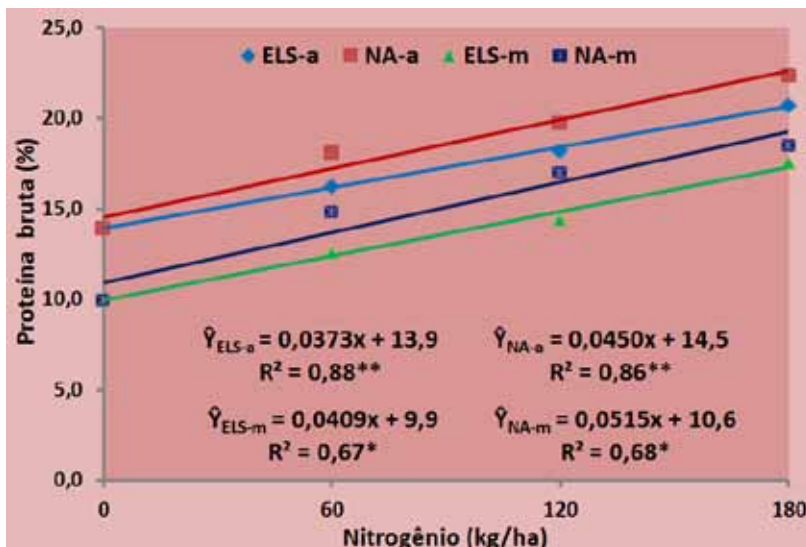


Figura 18. Teor de proteína bruta na forragem de aveia (a) e de milho (m) em função da aplicação de doses de nitrogênio na forma de esterco líquido de suínos (ELS) e nitrato de amônio (NA)

Nota: ** e * significativos a 1% e 5% respectivamente.

Esses resultados estão de acordo com os obtidos por Lupatini et al. (1998), que observaram aumento linear nos teores de PB de 13,17% a 22,24% na forragem de aveia + azevém, com doses de até 300kg/ha de N, por Soares & Restle (2001), que obtiveram teores de 19,83% a 25,06% de PB com utilização de até 450kg/ha de N em triticale + azevém, e por Kollet et al. (2006), que utilizaram 80kg/ha de N em cultivares de milho, obtendo valores de PB entre 13,62% e 19,33%. Teores menores de PB (8,5% a 11,5%) em milho foram obtidos por Medeiros et al. (1978), e superiores (18,05%) foram encontrados por Guideli et al. (2000) em milho adubado com 225kg/ha de N, porém com intervalo entre cortes de 14 dias, e no presente estudo o intervalo foi maior. Por sua vez, Moojen (1993), avaliando doses de 0, 150 e 300kg de N/ha em milho observou aumentos lineares no teor de PB da forrageira e também aumentos lineares nos ganhos médios diários dos animais em pastejo.

Os resultados mostram que, em comparação ao N-ELS, o N-NA apresenta uma maior eficiência na produção de PB, resultando em maiores incrementos com a mesma quantidade de N aplicada. Essa menor eficiência do adubo orgânico

em relação ao N-NA é justificável pelo fato de ele apresentar parte do N na forma orgânica, não prontamente disponível às plantas (Scherer et al., 1996) e estar mais sujeito a perdas por volatilização de NH_3 em aplicação superficial (Port et al., 2003). Adeli & Varco (2001), com aplicação de até 665kg/ha de N em grama-bermuda, não observaram diferença no teor de PB da forragem entre o uso de N-ELS e N-mineral.

Na Figura 19 é apresentado o acúmulo de PB na forragem por área com a aplicação de doses crescentes de N-ELS e N-NA nos dois níveis de calagem. As equações ajustadas indicam aumento linear no acúmulo de PB na forragem das três espécies avaliadas, com exceção da aveia, que apresentou resposta quadrática à aplicação de N-NA. Essa tendência de resposta da aveia mostra uma maior eficiência do N-NA em comparação ao N-ELS, principalmente nas menores doses, com maior acúmulo de PB na forragem, o que, de certa forma, também fica evidenciado nas forrageiras tropicais pelos maiores coeficientes angulares obtidos.

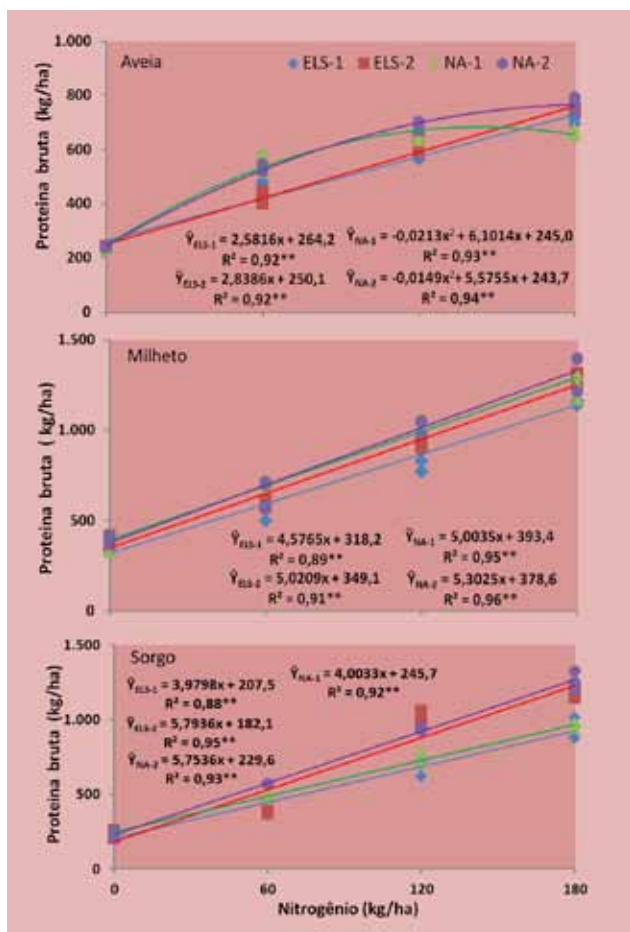


Figura 19. Produção de proteína bruta total, por área, com aveia, milheto e sorgo em função de doses de nitrogênio na forma de esterco líquido de suínos (ELS) e nitrato de amônio (NA) em dois níveis de calagem (1 = 3t/ha; 2 = 9t/ha). Valores médios de 4 anos (aveia), 3 anos (milheto) e 2 anos (sorgo)

Nota: ** e * significativos a 1% e 5% respectivamente.

O coeficiente angular das equações ajustadas para o teor de PB na MS de milho e de sorgo, em função dos níveis de N-ELS e N-NA aplicados, mostra não haver maiores diferenças entre essas duas forrageiras quanto ao aproveitamento do N para produção de PB. Com milho, foram obtidos aumentos de 4,6 a 5kg/ha de PB por quilo de N-ELS aplicado, e 5 a 5,3kg/ha de PB por quilo de N-NA aplicado. O sorgo apresentou, no maior nível de calagem, resposta similar ao milho, porém em solo mais ácido apresentou, em comparação ao milho, menores incrementos de PB por área, indicando maior suscetibilidade à acidez do solo.

Resultados de Restle et al. (2002) mostram que os teores de PB e a digestibilidade da forragem de sorgo e de milho em solo com acidez corrigida são semelhantes; observaram teores de 9,95% e 10,58% e digestibilidade de 54,56% e 54,81% em forragem de sorgo e milho respectivamente, sendo a quantidade de PB acumulada dependente da quantidade de MS produzida. Cabe destacar que, em função da maior quantidade de MS produzida, maiores rendimentos de PB por área são alcançados com as forrageiras tropicais, porém as forrageiras de estação fria apresentam maior teor de PB na MS, produzindo forragem com maior qualidade nutricional.

A PB das forragens é um nutriente de fundamental importância na nutrição dos ruminantes, uma vez que fornece o N requerido para o desenvolvimento das bactérias responsáveis pelo processo fermentativo que ocorre no rúmen. Dietas com baixo teor de PB, abaixo de 8%, podem limitar a atividade bacteriana no rúmen. Nesse caso, numa alimentação à base de pasto, a forragem deve ter no mínimo 8% de PB para atender as necessidades básicas de N das bactérias do rúmen. Esse teor, na forragem de sorgo, somente foi alcançado com aplicação de adubo nitrogenado. O milho, no tratamento sem aplicação de N, apresentou teor de PB próximo do limite mínimo estabelecido.

7 Avaliação econômica

Na Tabela 3 estão apresentadas as regressões da produção total de MS em função das doses e fontes de N aplicadas, mostrando os benefícios agrônômicos e econômicos da utilização de cada fonte de adubo. As análises foram realizadas tomando-se como base a produção total de MS das culturas de estação fria (aveia e aveia) e de estação quente (milho e sorgo) e a quantidade total de N aplicada nos nove anos com cultivo de plantas forrageiras. Para avaliação econômica da adubação nitrogenada foi usada a soma das produções de MS das duas forrageiras de inverno e das duas forrageiras de verão pelo fato de apresentarem forragem com qualidade semelhante e com aproximadamente o mesmo valor comercial.

As funções de produção ajustadas mostram uma maior resposta das plantas forrageiras à aplicação de N-ELS. A máxima eficiência técnica (MET) foi obtida com a aplicação total de 1.573 e 1.892kg/ha de N-NA e de N-ELS respectivamente, e de 1.684 e 3.584kg/ha de N-NA e de N-ELS nas gramíneas de inverno e de verão respectivamente. Essas quantidades de N-NA e N-ELS correspondem,

Tabela 3. Diferentes funções na produção e eficiência de forragem, no somatório de 9 anos, de aveia/azevém (Av/Az) e de milho/sorgo (Mi/So) em relação à quantidade total (x) de N-NA e N-ELS aplicada no período

Cultura e fonte de adubo	Função de produção	Máxima Eficiência Técnica	Máxima Produção Agrônômica	Máxima Eficiência Econômica	Máxima Produção Econômica
		N – kg/ha	Y – kg/ha	N – kg/ha	Y – kg/ha
Av/Az-NA	$Y=18472+27,365x-0,0087x^2$	1.573	39.990	927	36.121
Av/Az-ELS	$Y=18274+28,385x-0,0075x^2$	1.892	45.130	1.418	43.444
Mi/So-NA	$Y=39080+50,853x-0,0151x^2$	1.684	81.895	1.218	78.022
Mi/So-ELS	$Y=39191+41,573x-0,0058x^2$	3.584	113.688	2.817	110.268

respectivamente, a uma produção total de 39.990 e 45.130kg/ha de MS de aveia/azevém, e de 81.895 e 113.688kg/ha de MS de milho/sorgo.

As doses de N para máxima eficiência econômica (MEE) com produção de forragem, na soma dos nove anos, foram de 927 e 1.418kg/ha de N-NA e N-ELS respectivamente com gramíneas de inverno, e de 1.218 e 2.817kg/ha de N-NA e N-ELS respectivamente com gramíneas de verão. Esses valores correspondem a uma aplicação média anual de 103 e 158kg/ha de N-NA e N-ELS respectivamente nas gramíneas de inverno, e 135 e 313kg/ha de N-NA e N-ELS respectivamente nas gramíneas de verão. Esses valores, com exceção da dose de N-NA em milho/sorgo, são maiores do que os recomendados pela Comissão de Fertilidade do Solo RS/SC para gramíneas forrageiras anuais. As doses máximas, para esse solo, variam de 40 a 100kg/ha para as gramíneas de estação fria, e de 100 a 200kg/ha de N para as de estação quente (Sociedade..., 2004).

Em termos quantitativos, a MEE seria obtida com a aplicação anual de 45 e 89m³/ha de ELS no cultivo de gramíneas de inverno e de verão respectivamente, com teor médio de 3,5kg de N/m³. Na soma das doses de ELS indicadas para o cultivo de gramíneas forrageiras de inverno e de verão, em sistema de sucessão, como foi o caso desta pesquisa, a quantidade aplicada no ano seria de 134m³/ha, que é superior ao limite máximo estabelecido pela atual legislação ambiental, que no estado de Santa Catarina é de 50m³/ha/ano (Fatma, 2011). Isso mostra que a atual legislação ambiental é bastante restritiva e, dependendo da qualidade fertilizante do ELS, pode limitar a produtividade das forrageiras e o retorno econômico da adubação orgânica.

Cabe, no entanto, enfatizar que a dose econômica estimada de 313kg/ha de N-ELS para as gramíneas de verão está muito acima da dose máxima avaliada (180kg N/ha), não tendo, assim, o devido respaldo agrônômico nem ambiental necessário para uso continuado dessa quantidade de ELS estimada (89m³/ha). Porém, mesmo quando do uso da dose máxima de 180kg/ha de N-ELS em gramíneas tropicais, a

quantidade total de ELS ($96\text{m}^3/\text{ha}$), que deveria ser aplicada anualmente no sistema com gramíneas forrageiras de inverno e de verão em sucessão, é praticamente o dobro da quantidade máxima estabelecida pela legislação ambiental. Isso mostra que a dose máxima ($50\text{m}^3/\text{ha}$), estabelecida pela atual legislação ambiental de Santa Catarina, nesse caso, seria insuficiente para atender as necessidades nutricionais das gramíneas forrageiras, que são plantas bastante exigentes em N e exportam grandes quantidades de nutrientes (Figuras 15 e 16). Essa constatação remete à necessidade de mais pesquisas para avaliar o impacto ambiental da aplicação de maiores quantidades de ELS no solo.

Por outro lado, existe um diagnóstico realizado em mais de 100 esterqueiras de propriedades rurais da Região Oeste mostrando que grande parte do ELS apresenta um teor de N inferior ao encontrado nesta pesquisa (Scherer et al., 1996), necessitando da aplicação de maiores quantidades para suprimento das quantidades de N aqui estabelecidas para MEE. Nesse caso, quando a quantidade necessária de N não for integralmente suprida pela adubação orgânica, esta deverá ser complementada pela adubação mineral, aumentando o custo de produção.

8 Conclusões

- As gramíneas forrageiras anuais respondem positivamente à adubação nitrogenada, tanto no aumento de produção de matéria seca quanto na melhora da qualidade da forragem.
- O esterco líquido de suínos pode ser utilizado como fonte de nitrogênio em substituição à adubação mineral no sistema com gramíneas forrageiras sem prejuízo em termos de rendimento e qualidade da forragem. Portanto, constitui-se em uma solução muito boa para ciclagem de nutrientes em propriedades rurais com suinocultura e bovinocultura, tanto do ponto de vista agrônomo como ambiental.
- O uso continuado de nitrato de amônio para suprimento de nitrogênio às plantas reduz o pH do solo e aumenta os teores de Al trocável, principalmente nas camadas superficiais do solo, enquanto o esterco líquido de suínos, na mesma condição, também reduz o pH do solo, porém em escala menor, e tem pouca influência sobre os teores de Al trocável.
- O uso prolongado de esterco de suínos para suprimento integral de todo o nitrogênio exigido pelas gramíneas forrageiras aumenta a disponibilidade de fósforo, potássio, cobre e zinco na camada superficial do solo, porém em escala menor do que o normalmente observado quando o esterco é usado na adubação de culturas para produção de grãos.
- A absorção e o acúmulo de nutrientes na fitomassa das culturas são positivamente influenciados pela adubação orgânica e pela mineral. Maiores teores de P, K, Cu e Zn na massa seca são obtidos com aplicação de esterco líquido de suínos, influenciando positivamente a qualidade da forragem.
- As gramíneas forrageiras tropicais respondem mais à adubação nitrogenada

e são mais eficientes no aproveitamento do nutriente em comparação às gramíneas de estação fria.

- A máxima eficiência econômica é obtida com aplicações médias anuais de 103 e 158kg/ha de N-NA e N-ELS respectivamente em forrageiras de estação fria, e 135 e 180kg/ha de N-NA e N-ELS respectivamente em forrageiras anuais de estação quente. Esses valores correspondem a uma aplicação de 45 e 51m³/ha de esterco líquido de suínos com teor médio de 3,5kg N/m³ nos cultivos de inverno e de verão respectivamente.

- A recuperação aparente de nitrogênio é maior com forrageiras tropicais, variando de 41% a 45% na aveia, de 73% a 85% no milheto, e de 64% a 93% no sorgo-forrageiro.

- A adubação nitrogenada aumenta os teores de proteína bruta na forragem de gramíneas. O esterco de suínos apresenta menor eficiência na produção de proteína em comparação ao nitrato de amônio, propiciando menores incrementos no teor de proteína com a mesma quantidade de N aplicada.

- O sorgo, em comparação ao milheto, apresenta maior suscetibilidade aos fatores de acidez do solo, tendo menor produção de massa seca e menor eficiência de aproveitamento do N em solo mais ácido.

- O esterco líquido de suínos é uma alternativa economicamente viável para suprimento de nitrogênio nos sistemas com produção de forragem de gramíneas anuais. Como não há diferenças na produção de forragem, a decisão de usar adubo nitrogenado mineral ou esterco líquido de suínos para suprimento do nutriente às plantas deve basear-se na disponibilidade e no preço do nitrogênio aplicado.

- A utilização de esterco de suínos para suprimento de nitrogênio às plantas requer a aplicação de menor quantidade de calcário para correção da acidez do solo em comparação ao nitrato de amônio, aplicado para suprimento da mesma quantidade de nitrogênio.

Literatura citada

1. ADELI, A.; VARCO, J.J. Swine lagoon effluent as a source of nitrogen and phosphorus for summer forage grasses. **Agronomy Journal**, v.93; n.5; p.1174-1181, 2001.
2. ADELI, A.; BOLSTER, C.H.; ROWE, D.E. et al. Effect of long-term swine effluent application on selected soil properties. **Soil Science**, v.173, p.223-235, 2008.
3. ASSEFA, B.A.; SCHOENAU, J.J.; GREVERS, M.C.J. Effects of four annual applications of manure on Black Chernozemic Soils. **Canadian Biosystems Engineering**, v.46, p.39-46, 2004.
4. ASSMANN, J.M.; BRAIDA, J.A.; CASSOL, L.C. et al. Produção de matéria seca de

- forragem e acúmulo de nutrientes em pastagem anual de inverno tratada com esterco líquido de suínos. **Ciência Rural**, v.39, n.8, p.2408-2416, 2009.
5. CAIRES, E.F.; BLUM, G.; BARTH, F.J. et al. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.2, p.275-286, 2003.
 6. CERETTA, C.A.; DURIGON, R.; BASSO, C.J. et al. Características químicas de solo sob aplicação de esterco líquido de suínos em pastagem natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, p.729-735, 2003.
 7. CERETTA, C.A.; BASSO, C.J.; VIEIRA, F.C.B. et al. Dejeito líquido de suínos: I – perdas de nitrogênio e fósforo na solução escoada na superfície do solo, sob plantio direto. **Ciência Rural**, v.35, p.1296-1304, 2005a.
 8. CERETTA, C.A.; BASSO, C. J.; PAVINATTO, P.S. et al. Produtividade de grãos de milho, produção de matéria seca e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio na rotação de aveia-preta/milho/nabo-forrageiro com aplicação de dejeito líquido de suínos. **Ciência Rural**, v.35, p.1287-1295, 2005b.
 9. COMIN, J.; DORTZBACH, D.; SARTORI, R. et al. Adubação prolongada com dejetos suínos e os efeitos em atributos químicos e físicos do solo na produtividade em plantio direto sem agrotóxicos. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v.2, p.1340-1343, 2007.
 10. EGHBALL, B. Liming effects of beef cattle feedlot manure or compost. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.30, p.2563-2570, 1999.
 11. EGHBALL, B. Soil properties as influenced by phosphorus and nitrogen-based manure and compost applications. **Agronomy Journal**, v.94, p.128-135, 2002.
 12. ERNANI, P.R.; GIANELLO, C. Diminuição do alumínio trocável do solo pela incorporação de esterco de bovinos e camas de aviário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.7, p.161-165, 1983.
 13. FATMA. Fundação de Amparo à Tecnologia e ao Meio Ambiente. **Instrução Normativa 11**. Disponível em: <<http://www.fatma.sc.gov.br>>. Acesso em: 17 mar. 2011.
 14. FOX, R.H.; HOFFMAN, L.D. The effect of N fertilizer source on grain yield, N uptake, soil pH, and lime requirement in no-till corn. **Agronomy Journal**, v.73, p.891-895, 1981.
 15. GASCHO, G.J.; HUBBARD, R.K. Long-term impact of broiler litter on chemical properties of a coastal plain soil. **Journal of Soil and Water Conservation**, v.61, p.65-74, 2006.

16. GUIDELI, C.; FAVORETTO, V.; MALHEIROS, E.B. Produção e qualidade do milho semeado em duas épocas e adubado com nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, p.2093-2098, 2000.
17. HERINGER, I.; MOOJEN, E.L. Potencial produtivo, alterações da estrutura e qualidade da pastagem de milho submetida a diferentes níveis de nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, p.875-882, 2002.
18. HOYT, P.B.; TURNER, R.C. Effects of organic materials added to very acid soils, on pH, aluminum, exchangeable NH_4 , and crop yield. **Soil Science**, v.119, p.227-237, 1975.
19. HUE, N.V.; LICUDINE, D.L. Amelioration of subsoil acidity through surface application of organic manure. **Journal of Environmental Quality**, v.28, p.623-632, 1999.
20. JUO, A.S.R.; DABIRI, A.; FRANZLUEBBERS, K. Acidification of a kaolinitic Alfisol under continuous cropping with nitrogen fertilization in West Africa. **Plant and Soil**, v.171, p.245-253, 1995.
21. KING, L.D.; BURNS, J.C.; WESTERMAN, P.R. Long-term swine lagoon effluent applications on coastal bermudagrass: II. Effect on nutrient accumulation in soil. **Journal of Environmental Quality**, v.19, p.756-760, 1990.
22. KOLLET, J.L.; DIOGO, J.M.S.; LEITE, G.G. Rendimento forrageiro e composição bromatológica de variedades de milho (*Pennisetum glaucum* (L.) R. BR.), **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, p.1308-1315, 2006.
23. KONZEN, E.A. ; PEREIRA FILHO, I.A.; BAHIA FILHO, A.F.C. et al. **Manejo de esterco líquido de suínos e sua utilização na adubação do milho**. Sete Lagoas, MG: Embrapa-CNPMS, 1997. 31p. (Embrapa-CNPMS. Circular Técnica, 25).
24. LANGE, A.; CARVALHO, J.L.N.; DAMIN, V. et al. Alterações em atributos do solo decorrentes da aplicação de nitrogênio e palha em sistema semeadura direta na cultura do milho. **Ciência Rural**, v.36, p.460-467, 2006.
25. LOURENZI, C.R.; CERETTA, C.A.; BRUNETTO, G. et al. **Alterações em componentes da acidez em solo submetido a sucessivas aplicações de dejetos líquidos de suínos**. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 21. 2010. Guarapari, ES: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. CD.
26. LUPATINI, G.C.; RESTLE, J.; CERETTA, M. et al. Avaliação da mistura de aveia-preta e azevém sob pastejo submetida a níveis de nitrogênio. I - Produção e qualidade de forragem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, p.1939-1943, 1998.

27. MEDEIROS, R.B.; SAIBRO, J.C.; JACQUES, A.V.A. Efeito de nitrogênio e da população de plantas no rendimento e qualidade do milho (*Pennisetum americanum*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.7, p.276-285, 1978.
28. MENGEL, K. **Ernaehrung und Stoffwechsel der Pflanze**. 7.ed., Jena: Gustav Fischer Verlag, 1991. 466p.
29. MONDARDO, D.; CASTAGNARA, D.D.; OLIVEIRA, P.S.R. et al. Produção e composição química-bromatológica da aveia fertilizada com doses crescentes de dejetos líquidos suíno. **Ciência Agrônômica**, v.42, n.2, p.509-517, 2011.
30. MOOJEN, E.L. **Avaliação de milho (*Pennisetum americanum* (L.) Leeke) sob pastejo e níveis de adubação nitrogenada**, 1993. 39f. Tese (Progressão a Professor Titular) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.
31. MOREIRA, F.B.; CECATO, U.; PRADO, I.N. et al. Avaliação de aveia preta cv. Iapar 61 submetida a níveis crescentes de nitrogênio em área proveniente de cultura de soja. **Acta Scientiarum**, v.23, p.815-821, 2001.
32. OLSEN, R.J.; HENSLER, R.F.; ATTAO, O.J. Effect of manure application, aerations, soil pH on soil nitrogen transformations and on certain soil test values. **Soil Science Society of America Proceedings**, v.34, p.222-225, 1970.
33. QUEIROZ, F.M.; MATTOS, A.F.; PEREIRA, O.G. et al. Características químicas de solo submetido ao tratamento com esterco líquido de suínos e cultivado com gramíneas forrageiras. **Ciência Rural**, v.34, p.487-492, 2004.
34. PAUL, J.W.; BEAUCHAMP, E.G. Availability of manure slurry ammonium for corn using ^{15}N -labelled $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. **Canadian Journal of Soil Science**, v.77, p.35-42, 1995.
35. PORT, O.; AITA, C.; GIACOMINI, S.J. Perda de nitrogênio por volatilização com uso de dejetos de suínos em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, p.857-865, 2003.
36. RESTLE, J.; ROSO, C.; AITA, V. et al. Produção animal em pastagem com gramíneas de estação quente. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, p.1491-1500, 2002.
37. SCHEFFER-BASSO, S.M.; SCHERER, C.V.; ELWANGER, M. Resposta de pastagens perenes à adubação com chorume suíno: pastagem natural. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, n.2, p.221-227, 2008.
38. SCHERER, E.E. Efeito de fontes orgânicas e mineral de nitrogênio sobre produção de milho e propriedades químicas do solo sob sistema plantio direto. **Agropecuária Catarinense**, v.24, p.71-76, 2011.

39. SCHERER, E.E.; BALDISSERA, I.T.; AITA, C. **Avaliação da qualidade do dejetos líquido de suínos da região Oeste Catarinense para fins de utilização como fertilizante**. Florianópolis: Epagri, 1996. 46p. (Epagri, Boletim Técnico, 79).
40. SCHERER, E.E.; BALDISSERA, I.T.; NESI, C.N. Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho sob plantio direto e adubação com esterco de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.123-131, 2007.
41. SCHERER, E.E.; NESI, C.N. **Características químicas do solo em áreas agrícolas intensivamente adubadas com esterco de suínos**. Florianópolis: Epagri, 2009a. 34p. (Epagri, Boletim Técnico, 152).
42. SCHERER, E.E.; NESI, C.N. Características químicas de um latossolo sob diferentes sistemas de preparo e adubação orgânica. **Bragantia**, v.68, p.483-491, 2009b.
43. SOARES, A.B.; RESTLE, J.; ROSO, C. Dinâmica, qualidade, produção e custo de produção de forragem em pastagem de aveia-preta mais azevém, adubada com fontes de nitrogênio. **Ciência Rural**, v.31, p.117-122, 2001.
44. SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO (CQFS RS/SC). **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10.ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Núcleo Regional Sul, 2004. 400p.
45. SPOSITO, G. **The chemistry of soils**. New York: Oxford University Press, 1989. 277p.
46. SUBBA, G.; VENKATESWARLU, B.; VITTAL, K.P.R. et al. Effect of different organic materials as source of nitrogen on growth and yield of sorghum (*Sorghum bicolor*). **Indian Journal of Agricultural Science**, v.61, p.551-555, 1991.
47. TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A. et al. **Análise do solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: UFRGS/Departamento de Solos, 1995. 174p (UFRGS, Boletim Técnico, 5).
48. WHALEN, J.K.; CHANG, C.; CLAYTON, G.W. et al. Cattle manure amendments can increase the pH of acid soils. **Soil Science Society American Journal**, v.64, p.962-966, 2000.