

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

**ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DO SOLO E
PRODUTIVIDADE DE CAPIM-TIFTON 85 EM RESPOSTA À
APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO E ESTERCO BOVINO**

ESMERALDA OCHOA MARTÍNEZ

Engenheira Agrônoma

2017

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

**ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DO SOLO E
PRODUTIVIDADE DE CAPIM-TIFTON 85 EM RESPOSTA À
APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO E ESTERCO BOVINO**

Esmeralda Ochoa Martínez

Orientadora: Profa. Dra. Mara Cristina Pessôa da Cruz

Coorientador: Prof. Dr. Edson Luiz Mendes Coutinho

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

2017

O16a Ochoa Martínez, Esmeralda
Atributos químicos e físicos do solo e produtividade de capim-tifton 85 em resposta à aplicação de nitrogênio e esterco bovino / Esmeralda Ochoa Martínez. -- Jaboticabal, 2017
xii, 59 p. : il. ; 29 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2017

Orientadora: Mara Cristina Pessôa da Cruz

Banca examinadora: Felipe Batistella Filho, Flávia Fernanda Simili, José Carlos Barbosa, Itamar Andrioli

Bibliografia

1. Adubação. 2. Clorofila, 3. *Cynodon* spp. 4. Fracções orgânicas do solo. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.41:631.862

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

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DO SOLO E PRODUTIVIDADE DE
CAPIM-TIFTON 85 EM RESPOSTA À APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO E
ESTERCO BOVINO

AUTOR: ESMERALDA OCHOA MARTINEZ

ORIENTADORA: MARA CRISTINA PESSOA DA CRUZ

COORIENTADOR: EDSON LUIZ MENDES COUTINHO

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



Profa. Dra. MARA CRISTINA PESSOA DA CRUZ
Departamento de Solos e Adubos / FCAV / UNESP - Jaboticabal



Prof. Dr. FELIPE BATISTELLA FILHO
Instituto Federal de São Paulo / Campus Matão/SP



Pesquisadora Dra. FLÁVIA FERNANDA SIMILI
Estação Experimental de Sertãozinho / IZ - Sertãozinho/SP



Prof. Dr. JOSÉ CARLOS BARBOSA
Departamento de Ciências Exatas / FCAV / UNESP - Jaboticabal



Prof. Dr. ITAMAR ANDRIOLI
Departamento de Solos e Adubos / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 26 de junho de 2017

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

ESMERALDA OCHOA MARTÍNEZ – De nacionalidade Mexicana, nascida no dia 08 de agosto de 1979. Ingressou no ano de 1998 no curso de Agronomia na Universidade Autónoma Agraria Antonio Narro – UL, tendo concluído no ano de 2002. Cursou mestrado no período de 2004 a 2006 (Ciencias en Suelos) no Instituto Tecnológico de Torreón, Coahuila México. Foi auxiliar de pesquisa e responsável pelo laboratório de solos e planta no Campo Experimental La Laguna no período de 2007 a 2008. Em julho de 2008 iniciou atividades como pesquisador no Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas y Pecuarias (INIFAP-México). Em agosto de 2013, ingressou no curso de Doutorado em Agronomia (Ciência do Solo) na Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Câmpus de Jaboticabal, SP. Foi bolsista do programa PAEDEX de internacionalização da UNESP.

“Conheça todas as teorias, domine todas as técnicas, mas ao tocar uma alma humana, seja apenas outra alma humana”.

Carl Gustav Jung

*Ao meu filho José Alberto
por ser a minha maior riqueza e motivação. Te amo.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela saúde e coragem para superar os desafios e obstáculos em todo momento.

A meu filho José Alberto Rodríguez Ochoa, pela paciência e compreensão, mas sobre tudo, por estar ao meu lado me acompanhando nesta importante etapa.

A minha amada mãe Cristina, pelo exemplo, educação, amor, incentivo e apoio incondicional, porque mesmo na distância você esteve em todos os momentos de alegria e dificuldade me fortalecendo sempre. Minha eterna gratidão. Eu te amo mãe!

Aos meus irmãos Karina, Candido e Jesus, pelo carinho, apoio e companheirismo de sempre. Minha família insubstituível.

Ao Professor Dr. Edson Luiz Mendes Coutinho pela orientação, paciência e ensinamentos.

A professora Dra. Mara Cristina Pessoa da Cruz pela orientação, ensinamentos, disposição de sempre, paciência e conclusão da tese.

À UNESP Campus de Jaboticabal, ao Programa de Pós-graduação pela realização do curso de Doutorado.

Ao programa PAEDEX de internacionalização da UNESP.

Ao Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

Aos membros da banca do exame geral de qualificação Prof. Dr. Manoel Evaristo Ferreira e Prof. Dr. Itamar Andrioli, pelas valiosas sugestões apresentadas.

Ao Prof. Dr. José Eduardo Corá e a Prof. Dra. Carolina Fernandes, pela disponibilização do laboratório de análises físicas do solo.

Ao Professor Dr. Pedro Luiz da Costa Aguiar Alves, pelo apoio e disponibilidade de sempre. Muito Obrigada!

Ao Professor Dr. José Carlos Barbosa pelo auxílio nas análises estatísticas.

Ao coordenador do curso de Pós-graduação em Agronomia Prof. Dr. José Marques Júnior, pelo apoio e disponibilidade de sempre.

Aos Doutores pesquisadores Dr. Pedro Cano, Dr. Uriel Figueroa e Dr. Gregório Nuñez, pelo exemplo, apoio e por me motivar sempre. Muito obrigada!

Aos amigos e colegas de Torreón, Coahuila. México, obrigada pela torcida.

À Sra. Lorena e ao Sr. Tomás pelas suas preces e pelo seu carinho de sempre.

A Edimar Rodrigues Soares e Márcio Silveira da Silva, pela parceria e ajuda de sempre, principalmente pela sua valiosa amizade. Minha gratidão.

A Claudia de la Marta, pelo auxílio e disponibilidade de sempre nas análises laboratoriais, mas sobretudo pela sua valiosa amizade.

Aos colegas e amigos: Fabio Tiraboschi, Marcelo Barbosa, Juan Camilo, João, Carlos, Ana Luisa, Priscila, Luma, Bernardo pela sua valiosa ajuda no campo e no laboratório.

A Marcelo Scatolini, Dejair Lúcio da Silva e aos funcionários da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão pela ajuda no experimento.

A todos que tornaram minha estância agradável e prazerosa no Brasil, muito obrigada.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	xi
ABSTRACT.....	xii
CAPÍTULO 1 – Considerações gerais	13
Introdução.....	13
Revisão de Literatura.....	15
Referências.....	21
CAPÍTULO 2 – Esterco bovino e fertilizante nitrogenado para produção de capim-tifton 85.....	26
Resumo.....	26
Introdução.....	27
Material e Métodos.....	28
Resultado e Discussão.....	32
Conclusões.....	49
Referências.....	49
CAPÍTULO 3- Formas de carbono orgânico e atributos físicos de um Latossolo em pastagem de capim-tifton 85 adubada com esterco bovino e N-ureia.....	55
Resumo.....	55
Introdução.....	56
Material e Métodos.....	56
Resultado e Discussão.....	61
Conclusões.....	67
Referências.....	68

ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DO SOLO E PRODUTIVIDADE DE CAPIM-TIFTON 85 EM RESPOSTA À APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO E ESTERCO BOVINO

RESUMO - A intensificação da produção dos animais em sistemas confinados gera uma alta produção de esterco bovino que pode contribuir para o fornecimento de nutrientes. Além de proporcionar melhorias em atributos químicos e físicos do solo. Diante deste contexto trabalhou-se com a hipótese de que o esterco bovino pode substituir total ou parcialmente o fertilizante nitrogenado industrial na adubação do capim-tifton 85. Assim, o objetivo com o presente trabalho foi avaliar o efeito da combinação nitrogênio x esterco da produção de capim-tifton 85 e em atributos químicos e físicos do solo. O experimento foi instalado durante os anos agrícolas 2013-2014 e 2014-2015. Os tratamentos consistiram de cinco doses de nitrogênio (N): 0, 50, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹, e cinco doses de esterco (E): 0, 10, 20, 40 e 60 Mg ha⁻¹ combinadas em esquema fatorial. As doses de 300 kg ha⁻¹ de N e 40 Mg ha⁻¹ de E proporcionaram a maior produção de massa seca (10.469 kg ha⁻¹) e altura (75,10 cm) em 2013-14. A associação das maiores doses de esterco e nitrogênio resultaram em melhor desempenho da forrageira em relação a produção de massa seca total (13.305 kg ha⁻¹). Houve aumento de 71 e 88% de acúmulo de nitrogênio no capim-tifton 85 no ano agrícola 2013-14 e, aumento de 126 e 163 em 2014-15, com o uso de esterco e de N-ureia, respectivamente. A recuperação aparente de N com o uso de esterco foi maior no segundo ano de avaliação. Com o uso de N-ureia não houve variação nos teores de carbono orgânico do solo e nas formas de carbono associadas aos minerais e particulada. O uso de 60 Mg ha⁻¹ de esterco por dois anos consecutivos aumentou a estabilidade (94,96%) e o diâmetro médio ponderado dos agregados (4,86 mm), e diminuiu a resistência do solo à penetração (0,99 Mpa), devido ao aumento de 35% no teor de carbono do solo.

Palavra-chave: adubação, clorofila, *Cynodon* spp, frações orgânicas do solo

SOIL CHEMICAL AND PHYSICAL ATTRIBUTES AND OF CAPIM-TIFTON 85 PRODUCTIVITY IN RESPONSE TO NITROGEN AND CATTLE MANURE APPLICATION

ABSTRACT- Intensified production of animals in confined systems generates a high production of cattle manure that can contribute to the nutrient supply. In addition to providing improvements in soil chemical and physical attributes. In this context, we worked with the hypothesis that bovine manure can totally or partially replace industrial nitrogen fertilizer in fertilization of tifton grass 85. Thus, the objective with the present work was to evaluate the effect of the nitrogen and manure combination of tifton 85 grass production and on soil chemical and physical attributes. The experiment was installed during the agricultural years 2013-2014 and 2014-2015. The treatments consisted of five doses of nitrogen (N): 0, 50, 100, 200 and 300 kg ha⁻¹, and five manure doses (E): 0, 10, 20, 40 and 60 Mg ha⁻¹ combined in factorial scheme. The doses of 300 kg ha⁻¹ of N and 40 Mg ha⁻¹ of E provided the highest dry mass production (10,469 kg ha⁻¹) and height (75,10 cm) in 2013-14. The association of the highest doses of manure and nitrogen resulted in better forage performance in relation to the production of total dry mass (13,305 kg ha⁻¹). There was an increase of 71 and 88% of nitrogen accumulation in Tifton 85 grass in the agricultural year 2013-14 and, increased 126 and 163 in 2014-15, respectively. The apparent recovery of N with use of manure was greater in the second year of evaluation. With the use of N-urea, there was no change in soil organic carbon and forms of carbon associated with minerals and particulate. The use of 60 Mg ha⁻¹ of manure for two consecutive years increased the stability (94.96%) and the weighted average diameter of the aggregates (4.86 mm) and decreased soil resistance to penetration (0.99 MPa) due to the 35% increase in soil carbon content.

Keywords – fertilization, chlorophyll, *Cynodon* spp, soil organic fractions,

CAPÍTULO 1- Considerações gerais

Introdução

O aumento da produção de forragem depende de práticas como o manejo da adubação, principalmente a nitrogenada, do tipo de solo, do teor de matéria orgânica (MO) e das condições ambientais (MOREIRA et al., 2015). O manejo da adubação deve ser definido em razão das características morfológicas e fisiológicas das plantas forrageiras para garantir altas produções e persistência das pastagens (FAGUNDES et al., 2001), uma vez que as gramíneas forrageiras são exigentes e demandam quantidade maior de nutrientes, principalmente de nitrogênio e de potássio (COLUSSI et al., 2014).

A aplicação de fertilizantes industriais é uma prática agrícola importante para aumentar a produção das pastagens, embora Radulov et al. (2011) citem que, além de aumentar os custos de produção, o excesso de fertilizantes pode comprometer a fertilidade do solo devido ao aumento da salinidade e à diminuição do valor de pH; pode interferir na nutrição das plantas por causar inibição da absorção de alguns nutrientes; e, ainda, pode alterar vários atributos físicos do solo em decorrência de mudanças na estrutura.

A busca de altos rendimentos de forragem para proporcionar alimento para os bovinos implica em uso intensivo do solo e, se não forem adotados métodos de manejo adequados, há risco de degradação das áreas de pastagens (LOSS et al., 2011). Barbosa et al. (2015) indicaram que um dos maiores problemas da pecuária brasileira é a degradação das pastagens, o que provoca diminuição da produtividade, perda de matéria orgânica e aumento da emissão de CO₂ para a atmosfera. No entanto, em solos com áreas de pastagens bem manejadas e de alta produtividade a preservação da MO tende a ser maior, pois o revolvimento do solo é mínimo (ROSA; SANO; ROSENDO, 2014).

O uso do esterco bovino na adubação apresenta benefícios que vão além do fornecimento de nutrientes, uma vez que ele pode influenciar de forma positiva a dinâmica da MO, podendo aumentar o teor de carbono orgânico do solo e diminuir a emissão de gases para a atmosfera (LOSS et al., 2011). Diversos estudos têm

demonstrado os efeitos benéficos do uso do esterco bovino na qualidade do solo após vários anos de aplicação (BRITO et al., 2005; MELO et al., 2011). Como fonte de MO, o uso de esterco auxilia na formação e estabilização dos agregados, melhorando a porosidade, reduzindo a densidade do solo, aumentando a macroporosidade e a taxa de infiltração de água (MELLEK et al., 2010).

Se, por um lado, têm-se vários efeitos benéficos do uso da adubação orgânica, por outro, o manejo inadequado destes resíduos, como aplicação de doses excessivas em intervalos pequenos, pode ser responsável pela poluição de águas superficiais e subterrâneas (UTEMBERGUE et al., 2013). Os estercos contêm altos teores de N, P e K, dentre outros nutrientes, uma vez que o gado pode eliminar de 40-50% de sua ingestão através das fezes, e nelas podem estar contidos 75% do nitrogênio, 80% do fósforo e 85% do potássio presentes no alimento, o que significa que mais da metade do conteúdo total de nutrientes ingerido originalmente pode ser reciclado (ZANINE; FERREIRA, 2015).

Uma possibilidade de aumentar a eficiência no manejo de nutrientes em pastagens é a utilização combinada de materiais orgânicos e fertilizantes industriais. Newton et al. (2003) e Melo et al. (2011) mencionaram que a produtividade de forragem é mais eficiente pela aplicação do esterco bovino.

A associação de fertilizantes industriais e dejetos de animais é uma alternativa para minimizar a degradação das pastagens (ARAUJO et al., 2011). Segundo Newton et al. (2003), o uso de esterco bovino, além de tornar a produção de forragem mais eficiente, fortalece a posição econômica da região para a produção de ruminantes e limita o potencial do impacto negativo da pecuária no ambiente.

Aproximadamente 60% das áreas totais de pastagem no Brasil são ocupadas por *Brachiaria* (NASTARO, 2012). Porém, as forrageiras do gênero *Cynodon*, como o tifton 85, são consideradas outra opção, pois apresentam elevado potencial de produção de forragem de boa qualidade, sendo usadas tanto na forma de pastagem como na forma de feno (ALVIM et al., 1997). O tifton 85 se caracteriza por ser uma planta perene, estolonífera e rizomatosa, com boa resistência a doenças e ao déficit hídrico, e tolerância à salinidade e toxicidade de íons específicos, mas como outras

espécies do gênero *Cynodon*, é mais adaptado a climas mais frios (ALVIM et al., 1999).

Neste contexto, objetivou-se com este experimento avaliar a produtividade do capim-tifton 85 em função da combinação de doses de N-ureia e de esterco bovino, bem como determinar as variações nas características químicas e físicas do solo decorrentes do manejo da adubação.

Revisão de Literatura

A fertilização adequada do solo é uma prática indispensável para a obtenção de boa produtividade das plantas cultivadas. Porém, a adubação inadequada pode causar problemas no solo e no meio ambiente (DING et al., 2016). A intensificação dos sistemas de produção pecuária aumenta também o impacto ambiental por meio da utilização de novas tecnologias, de processos e de insumos, portanto, uma estratégia para mitigar os problemas de poluição, é a reciclagem dos nutrientes na produção agrícola, o que pode ser feito usando adubos orgânicos, combinados ou não com adubos industriais. Entre os adubos orgânicos mais utilizados está o esterco bovino.

A quantidade de esterco bovino disponível na propriedade depende do sistema de produção dos animais e, de acordo com Assis et al. (2005), existem quatro sistemas de produção em uso no Brasil: o extensivo (animais criados exclusivamente a pasto), o semi-extensivo (animais criados a pasto, com suplementação volumosa na época de menor crescimento do pasto), o intensivo a pasto (animais alimentados a pasto com forrageiras de alta capacidade de suporte, com suplementação na época de menor crescimento do pasto ou durante o ano todo, em alguns casos), e o intensivo em confinamento (animais alimentados com silagens, fenos e concentrados o ano todo).

O sistema extensivo é a opção mais adotada pelos produtores brasileiros para atender à demanda da produção de alimentos para os animais, tanto na produção de carne quanto na de leite. Porém, o sistema intensivo, muito usado na terminação dos animais, gera elevada produção de resíduos e efluentes, tornando necessário adotar medidas para evitar poluição nas águas superficiais e subterrâneas

(LACERDA; SILVA, 2014). Quando esses resíduos são arrastados para os cursos de água causam danos ao ambiente que resulta em eutrofização causada pelos nutrientes contidos nos resíduos, principalmente N, P e K. Nestas condições há diminuição do teor de oxigênio da água, provocando a morte de peixes e microrganismos (CAMPOS, 2003).

A quantidade de resíduos orgânicos produzidos por dia e o teor de nutrientes nos resíduos variam de acordo com o peso do animal, a idade, o tipo de alimentação, a digestibilidade do alimento, além do tipo de cama usada e dos restos de alimentos (CAMPOS et al., 2003). A produção diária de resíduos pode então ser muito variável, com registros de 30-35 kg para gado de corte e 45-48 kg para gado de leite (OSHIRO et al., 2016).

Os teores médios de macronutrientes no esterco bovino, em base seca, variam de 0,38% a 2,51%; 0,18 a 1,47% e de 0,67 a 1,32% para N, P e K, respectivamente (SIQUEIRA JÚNIOR 2005; XAVIER; LUCAS JÚNIOR, 2011).

Campos (2001) menciona que o manejo do esterco vai depender do sistema de produção: convencional (na forma sólida), líquido, semi-sólido ou misto, em lagoas e compostagem. O esterco sólido é raspado manual ou mecanicamente, para depois ser levado para uma esterqueira ou para compostagem (em leiras, pilhas aeradas, pilhas estáticas, ou utilizando o sistema Beccari que é um processo biologicamente misto, em células fechadas). Pode também ser levado para locais cobertos ou não, para escoamento do excesso de água para depois ser distribuído nas áreas agrícolas. Não é comum adotar algum tipo de processamento ou tratamento prévio do esterco antes de ser aplicado ao solo.

O uso do esterco bovino na adubação de pastagens no Brasil é uma questão que ainda demanda estudo. Por outro lado, a adubação nitrogenada já foi muito estudada e aumentos de produtividade de pastagens com o uso de nitrogênio já foram demonstrados em muitas pesquisas feitas no Brasil. O nitrogênio é o nutriente que tem maior influência na produção de biomassa e no conteúdo de proteína bruta dos capins. A eficiência de uso do nitrogênio dos fertilizantes é comumente menor do que a esperada e, em média, não ultrapassa 50%, com menor aproveitamento, principalmente, com o uso de doses mais altas de fertilizantes industriais, como a ureia, por exemplo, que fica mais sujeita a perdas por lixiviação, escoamento

superficial e volatilização (FIOREZE, 2010). No entanto, a eficiência do fertilizante depende das características químicas e físicas do solo (GIOACCHINI et al., 2006).

De modo geral, todas as espécies de capins respondem à aplicação de nitrogênio e, dentre as mais responsivas estão as pertencentes ao gênero *Cynodon*, no qual está o capim-tifton 85. Com aplicação de doses de até 600 kg ha⁻¹ por ano de N em diferentes intervalos de corte, houve grandes incrementos na produção anual de massa seca do capim-tifton 85, tanto no período de chuva como na época seca, no intervalo de quatro semanas e seis semanas, respectivamente. Na época chuvosa, a maior produtividade de massa seca foi de 17.063 kg ha⁻¹, ao passo que nas secas foi de 6.124 kg ha⁻¹ (ALVIM et al., 1999).

Em outro experimento, em quatro cortes de tifton 85 com intervalos de 35 dias, no verão, a produção de MS acumulada sem adubação nitrogenada foi de 7.464 kg ha⁻¹, e de 14.255 kg ha⁻¹ com 400 kg ha⁻¹ de N (CECATO et al., 2001).

Ribeiro e Pereira (2011) avaliaram doses de N (0,100, 200, 300 e 400 kg ha⁻¹ por ano) em quatro cortes de tifton 85 na época do verão e obtiveram produções entre 5.751 e 20.466 kg ha⁻¹ por ano de MS, com intervalos de corte de 28 dias.

As repostas de produtividade do tifton-85 a adubação nitrogenada são altas, conforme demonstrado, e uma forma de minimizar os custos da adubação sem perda de produtividade pode ser a associação dos adubos nitrogenados industriais a resíduos orgânicos.

De acordo com Kaur et al. (2005), o sistema integrado de manejo de nutrientes, que consiste no uso combinado de adubos industriais e adubos orgânicos como o esterco, é uma das alternativas para diminuir o uso dos fertilizantes industriais e os custos de produção. O uso de esterco é uma opção que, além de não degradar o ambiente, pode manter os níveis atuais de produtividade pela disponibilidade em áreas com alta densidade animal nos sistemas de produção intensiva.

O emprego dos resíduos orgânicos nos cultivos agrícolas proporciona mudanças na qualidade de solo (LEONEL; DAMATTO JUNIOR, 2008), a qual pode ser avaliada por indicadores físicos, químicos e biológicos. Os indicadores físicos de qualidade do solo compreendem: estrutura, resistência à penetração (compactação), profundidade de enraizamento, capacidade de água disponível (reserva hídrica) e

percolação da água. Os indicadores químicos são: pH (e índice de saturação por bases), carbono orgânico, CTC, nitrogênio e outros nutrientes no solo, condutividade elétrica e sais solúveis totais (LAL, 1999). A biomassa microbiana, a respiração do solo, a fixação biológica do N₂ e a atividade enzimática do solo são os principais indicadores biológicos (ARAUJO; MONTEIRO 2007).

Com frequência é usado o termo carbono orgânico do solo (COS) para se referir ao carbono que compõe a matéria orgânica do solo. Conforme Brady e Weil (2013), avaliar o teor de carbono no solo é importante, pois ele desempenha papel essencial na estrutura química de todas as substâncias orgânicas.

Por outro lado, é importante avaliar a matéria orgânica do solo para o reconhecimento das diferentes frações ou dos compartimentos de carbono orgânico, que variam de acordo com a suscetibilidade à decomposição microbiana, podendo ser avaliadas mediante métodos químicos e físicos (BRADY; WEIL, 2013).

Existem dois tipos de métodos de fracionamento físico da MO: o densimétrico e o granulométrico. O método granulométrico é o mais utilizado e consiste em separar a MO em duas frações básicas, obtendo o carbono orgânico particulado (COP), que é o material presente na fração areia (>0,053 mm), composto por matéria orgânica viva da biomassa e que ainda apresenta tecidos intactos de resíduos de hifas de fungos (KLUG, 2014). Este compartimento é aumentado pela adição de resíduos de origem animal e de vegetais frescos. No entanto, é facilmente perdido quando as adições são reduzidas ou se o preparo do solo é intensificado. Este compartimento também é responsável pelos efeitos benéficos da adição de resíduos na estabilidade dos agregados (BRADY; WEIL, 2013).

O diâmetro médio ponderado dos agregados estáveis em água e o carbono orgânico do solo são indicadores para avaliar a qualidade do solo após a aplicação de esterco. O teor do carbono aumenta principalmente na camada superficial do solo e a formação de agregados é melhor e mais estável mantendo a integridade da superfície do solo, facilitando a infiltração da água em vez do escoamento (UDOM et al., 2016).

O carbono associado aos minerais (CAM) são as partículas que são associadas às frações silte e argila (<0,053 mm). Esta fração está fortemente associada às propriedades coloidais do húmus e é responsável por grande parte da

capacidade de retenção de cátions e de água no solo pela MO (BRADY; WEIL, 2013).

Em relação aos atributos físicos, a adição de adubos orgânicos melhora a densidade, a retenção de água, a estrutura e a porosidade (BARTHÈS; ROOSE, 2002). Brito et al. (2005) verificam que o aumento da porosidade, aeração e retenção de água é resultado da relação que existe entre a MO, a agregação das partículas e a estabilização dos agregados, ou seja, uma elevada percentagem de agregados estáveis em água, além de aumentar a infiltração, a porosidade e a capacidade de retenção de água, diminui a compactação (MOSADDEGHI et al., 2000) e a erosão (BARTHÈS; ROOSE, 2002).

A MO, por sua vez, aumenta a capacidade de troca catiônica (CTC) e pode aumentar soma de bases. Segundo Radulov et al. (2011) isso é muito importante nos solos do Brasil, que geralmente apresentam CTC potencial baixa. Quando a CTC é baixa, as plantas podem não obter quantidades suficientes de nutrientes para crescer, e os nutrientes podem ser lixiviados, principalmente o potássio. Na parte biológica, a adição de resíduos orgânicos favorece a proliferação e a atividade de bactérias, fungos e actinobactérias (LACERDA; SILVA, 2014). Os microrganismos são vitais em muitos processos que ocorrem no solo, como a decomposição e mineralização da matéria orgânica, as transformações do nitrogênio como amonificação, nitrificação e desnitrificação, a fixação biológica de nitrogênio atmosférico e a produção de hormônios aleloquímicos.

Conforme Fioreze (2010), os compostos orgânicos adicionados ao solo nem sempre se decompõem na mesma velocidade: açúcares, amidos e proteínas simples se decompõem mais facilmente do que hemiceluloses, lignina e gorduras. Os compostos mais complexos e resistentes tendem a persistir mais no solo, dando origem às substâncias húmicas. Segundo o autor, no processo de decomposição dos adubos orgânicos ocorre uma limitação temporária à atividade microbiana pela ação dos argilominerais, diminuindo a taxa de decomposição pela maior sorção dos produtos da decomposição e incorporação destes nos agregados do solo, dificultando assim o acesso direto dos microrganismos ao nitrogênio orgânico.

Avaliando doses de esterco (15 Mg ha^{-1}) em combinação com adubo industrial (120 kg ha^{-1} de N), Kaur et al. (2005) observaram aumentos no teor de carbono

orgânico total, que variou de 6,0 a 9,7 g kg⁻¹, com a aplicação isolada de adubo industrial em relação a associação de adubo industrial e esterco bovino, respectivamente.

A mineralização dos adubos orgânicos depende de fatores climáticos e edáficos, da concentração de nitrogênio, da relação C/N e da biodegradabilidade do material. A fração orgânica do esterco bovino mineraliza mais lentamente em relação à liberação dos nutrientes das fontes industriais. No caso da ureia, o processo de hidrólise acontece rapidamente a N-NH₄⁺, podendo ser convertida a NH₃ em curto tempo. O nitrogênio contido no esterco, por sua vez, sofre mineralização gradual, produzindo efeito residual nos anos seguintes (SYLVESTRE, 2013; MARTÍNEZ et al., 2016).

Wen et al. (2003) confirmaram que, além do bom desempenho das culturas no ano da aplicação do esterco, o rendimento no segundo ano após a aplicação é significativamente maior pela disponibilidade dos nutrientes, especialmente do nitrogênio, proveniente das frações do esterco que mineralizam mais lentamente.

Yoottasanong et al. (2015) avaliaram uma gramínea (*Panicum maximum* cv. TD 58) associada a leguminosas (*Chamaecrista rotundifolia* cv. Wynn e *Stylosanthes hamata* cv. Verano) em função de doses de esterco (0, 8, 16 e 24 Mg ha⁻¹). A produção de massa seca aumentou com o uso de 24 Mg ha⁻¹ de esterco, com valores que variaram entre 2.853 a 10.253 kg ha⁻¹ para as doses de 0 e 24 Mg ha⁻¹ respectivamente. Embora fosse um solo relativamente pobre, mesmo com as doses maiores a produtividade não diminuiu.

McRoberts et al. (2014) obtiveram, em solo de textura arenosa, produção de 18.300 kg ha⁻¹ de MS por ano de *Brachiaria* cv. Mulato II com o uso de 24 Mg ha⁻¹ de esterco compostado em combinação com 120 kg ha⁻¹ de N.

Embora exista grande número de pesquisas sobre a resposta de gramíneas forrageiras ao uso de adubos nitrogenados industriais e também haja informação sobre as vantagens do uso de resíduos orgânicos, a associação de adubos orgânicos e industriais para gramíneas forrageiras perenes de clima tropical tem sido pouco avaliada, apesar dos ganhos econômicos e ambientais que podem ser obtidos com a adoção desta prática, o que justifica a presente pesquisa.

Referências

- ALVIM, M. J.; VILELA, D.; LOPES, R. S. Efeitos de dos níveis de concentrado sobre a produção de leite de vacas da raça Holandesa em pastagem de Coast-cross (*Cynodon dactylon* (L.) Pers). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.26, n.5, p.967-975, 1997.
- ALVIM, M. J.; XAVIER, D. F.; VERNEQUE, R. S.; BOTRELL, M. A. Resposta do Tifton 85 a doses de nitrogênio e intervalos de corte. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, n.12, p.2345-2352, 1999.
- ARAUJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. S. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Biocience Journal**, v. 23, n. 3, p. 66-75, 2007.
- ARAUJO, A. S.; SILVA, J. E. C.; SANTOS, A. C.; SILVA NETO, S. P.; DIM, V. P.; ALEXANDRINO, E. Substituição de nitrogênio por esterco bovino na produtividade de forragem e qualidade do solo. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**. v.12, n.4, p. 852-866, 2011.
- ASSIS, A. G.; STOCK, L. A.; CAMPOS, O. F.; GOMES, A. T.; ZOCCAL, R.; SILVA, M. R. **Sistemas de produção de leite no Brasil**. Embrapa Gado de Leite. Juiz de Fora. MG, 2005. 6 p. (Circular técnica, 85).
- BARBOSA, F. A.; SOARES FILHO, B. S.; MERRY, F. D.; AZEVEDO, H. O.; COSTA, W. L. S.; COE, M. T.; BATISTA, E. L. S.; MACIEL, T. G.; SHEEPERS, L. C.; OLIVEIRA, A. R.; RODRIGUES, H. O. **Cenário para pecuária de corte Amazônica**. Belo Horizonte. Ed. IGC/UFMG. 2015. 154 p.
- BARTHÈS, B; ROOSE, E. Aggregate stability as an indicator of soil susceptibility to runoff and erosion; validation at several levels. **Catena**, v.47, n.2, p. 133-149, 2002.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. p. 398-436.
- BRITO, O. R.; VENDRAME, P. R. S; BRITO, R. M. Alterações das propriedades químicas de um Latossolo vermelho distroférico submetido a tratamentos com resíduos orgânicos, **Semina**, v.26, n.1, p. 33-40, 2005.
- CAMPOS, A. T. **Instrução técnica para o produtor de leite**. Tratamento e manejo de dejetos de bovinos. Juiz de Fora, MG: Embrapa Gado de Leite, 2001. 10p. (Embrapa Gado de Leite. Circular técnica, 75).
- CAMPOS, A. T.; CAMPOS, A. T.; CAMPOS, D. S.; PIRES, M. F. **Tratamento e reciclagem de águas residuárias em sistema intensivo de produção de leite**. Juiz de Fora, MG: Embrapa Gado de Leite, 2003. 10p. (Embrapa Gado de Leite. Circular técnica, 52).

CEGATO, U.; SANTOS, G. T.; MACHADO, M. A.; GOMES, L. H.; DAMACENO, J. C.; JOBIM, C. C.; RIBAS, N. P.; MIRA, E. T.; CANO, C. C. P. Avaliação de cultivares do gênero *Cynodon* com e sem nitrogênio. **Acta Scientiarum**, v. 23, n. 4, p. 781-788, 2001.

COLUSSI, G., SILVA, L. S., MINATO, E. A. Escarificação e adubação orgânica: efeito na recuperação estrutural de solo produzindo Tifton. **Ciência Rural**, v.44, n.11, p.1956-1961, 2014.

DING, J.; JIANG, X.; GUAN, D.; ZHAO, B.; MA, M.; ZHOU, B.; CAO, F.; YANG, X.; LI, L.; LI, J. Influence of inorganic fertilizer and organic manure application on fungal communities in a long-term field experiment of Chinese Mollisols. **Applied Soil Ecology**, v.111, n.1, p. 114-122, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2016.12.003>>

FAGUNDES, J. L.; SILVA, C. S.; PEDREIRA, S. C. G.; CARNEVALLI, A. R.; CARVALHO, B. C. A.; SBRISSIA, F. A.; PINTO, M. L. F. Índice de área foliar, coeficiente de extinção luminosa e acúmulo de forragem em pastagens de *Cynodon* spp. sob lotação contínua. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, n.1, p. 187-195, 2001.

FIGUEIREDO, C. **Liberção de N em diferentes solos e épocas de cultivo sob adubação orgânica**. 2010. 117f. Tese (Doutor em Ciência do solo)-Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais. Santa Maria-RS. 2010.

GIOACCHINI, P.; RAMIERI, N. A.; MONTECCHIO, D.; MARZADORI, C.; CIAVATTA, C. Dynamics of mineral nitrogen in soils treated with slow-release fertilizers. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.37, p.1-12, 2006.

KAUR, K.; KAPOOR, K. K.; GUPTA, A. P. Impact of organic manures with and without mineral fertilizer on soil chemical and biological properties under tropical conditions. **Jornal Plant Nutrition Soil Science**, v. 168, n. 1, p 177-122. 2005. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1002/jpln.200421442>>.

KLUG, I. **Estoque e frações granulométricas do carbono em solo de altitude do Rio Grande do Sul sob diferentes vegetações**. 2014. 80 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Universidade do Estado de Santa Catarina. Lages, SC, 2014.

LACERDA, J. J. J.; SILVA, D. R. G. **Fertilizantes orgânicos: usos, legislação e métodos de análise**. Ministério da educação Universidade Federal de Lavras. MG, 2014. 90 p. (Boletim Técnico, 96).

LAL, R. **Métodos para avaliação do uso sustentável dos recursos solo e água nos trópicos**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 1999. 97p. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 03).

LEONEL, S.; DAMATTO JUNIOR, E. R.; Efeitos do esterco de curral na fertilidade do solo, no estado nutricional e na produção da figueira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, n.2, p. 534-539, 2008.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; SCHULTZ, N.; DOS ANJOS, H. C.; SILVA, E. M. R. Frações orgânicas e índice de manejo de carbono do solo em diferentes sistemas de produção orgânica. **Idesia**, v.29, n.2, 2011.

MARTÍNEZ, E.; DOMINGO, F.; ROSELLÓ, A.; SERRA, J.; BOIXADERA, J.; LLOVERAS, J. The effects of dairy cattle manure and mineral N fertilizer on irrigated maize and soil N and organic C. **European Journal of Agronomy**, v. 83, n. 1, p. 78-85, 2016.

McROBERTS, K. C.; KETTERINGS, Q. M.; PARSONS, D.; HAL, T. T.; QUAN, N. H.; BA, N. X., NICHOLSON, C. F.; CHERNEY, D. J. R. Impact of forage fertilization with urea and composted cattle manure on soil fertility in sandy soils of South-Central Vietnam. **International Journal of Agronomy**, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1155/2016/4709024>>.

MELLEK, J. E.; DIECKOW, J., SILVA, V. L.; FAVARETTO, N.; PAULETTI, V.; VEZZANI, F. M.; SOUZA, J. L. M. Dairy liquid manure and no-tillage: physical and hydraulic properties and carbon stocks in a cambisol of Southern Brazil. **Soil & Tillage Research**. v. 110, n. 1, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2010.06.005>>

MELO, A. V.; GALVÃO, J. C. C.; BRAUN, H., SANTOS, M. M.; COIMBRA, R.R.; SILVA, R. R.; REIS, W. F. Extração de nutrientes e produção de biomassa de aveia-preta cultivada em solo submetido a dezoito anos de adubação orgânica e mineral. **Semina**, v.32, n.2, p. 411-420, 2011.

MOREIRA, A. L.; FAGUNDES, J. K.; YOSHIHARA, E.; BACKES, A. A.; BARBOSA, L. T.; OLIVEIRA JR.; L. F. G.; SANTOS, G. R. A.; SANTOS, M. A. S. A. Acúmulo de forragem em pastos de Tifton 85 adubados com nitrogênio e manejados sob lotação contínua. **Semina: Ciências Agrárias**, v.36, n.3, suplemento 1, p. 2275-2286, 2015.

MOSADDEGHI, M. R.; HAJABBASI, M. A.; HEMMAT, A.; AFYUNI, M. Soil compatibility as affected by soil moisture content and farmyard manure in central Iran. **Soil & Tillage Research**, v.55, p.87-97, 2000.

NASTARO, B. **Parâmetros morfogênicos, nutricionais e produtivos do capim-piatã suprido com combinações de doses de nitrogênio e enxofre**. 2006. 105 f. Dissertação (Mestrado em solos e nutrição de plantas). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Piracicaba, 2012.

NEWTON, G. L.; BERNARD, J. K.; HUBBARD, R. K.; ALLISON, J. R.; LOWRANCE, R. R.; GASCHO, G. J.; GATES, R. N.; Vellidis, G. Managing manure nutrients through multi-crop forage production. **Journal of Dairy Science**, v.86, n.6, p. 2243-2252, 2003.

OSHIRO, C. R.; DA SILVA, D.A.; HOSKAWA, R. T.; DA SILVA, J. C. G. L.; NAKAJIMA, N. Y. Disponibilidade potencial de esterco da bovinocultura leiteira para energia em cooperativa. In: ENCONTRO INTERNACIONAL SOBRE GESTÃO EMPRESARIAL E MEIO AMBIENTE, 8., 2016, São Paulo. Anais...SP: FEA-USP. 2016. Disponível em: <<http://engemausp.submissao.com.br/18/anais/arquivos/435.pdf>> Acesso em: 18 mar.2017.

RADULOV, I.; BERBECEA, A.; SALA F.; CRISTA, F.; LATO, A. Mineral fertilization influence on soil pH, cationic exchange capacity and nutrient content. **Research Journal of Agricultural Science**, v.43, n.3, 2011.

RIBEIRO, K. G.; PEREIRA, O. G. Produtividade de matéria seca e composição mineral do capim Tifton 85 sob diferentes doses de nitrogênio e idades de rebrotação. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 4, p. 811-816, 2011.

ROSA, R.; SANO, E. E.; ROSENDO, J. S. Estoque de carbono em solos sob pastagens cultivadas na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba. **Revista Sociedade & Natureza**, v. 26, n. 3, p. 333-351, 2014.

SIQUEIRA JÚNIOR, L. A. **Alterações de características do solo na implantação de um sistema de integração agricultura-pecuária leiteira**. 2005. 107F. Tese (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

SYLVESTRE, T. B. **Mineralização de nitrogênio do esterco bovino e produção de alface em função de N-ureia**. 2013. 57f.Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2013.

UDOM, B. E.; NUGA, B. O.; ADESODUM, J. K. Water-stable aggregates and aggregates-associated organic carbon and nitrogen after three annual applications of poultry manure and spent mushroom wastes. **Applied Soil Ecology**, v. 101, n. 1, p. 5-10, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2016.01.007>>.

UTEMBERGUE, B. L.; AFONSO, E. R; PEREIRA, A. S. C. Manejo de dejetos em confinamento de bovinos de corte. **Anais..** Pirassununga: USP/FMVZ, 2013. Disponível em: http://www.sisca.com.br/resumos/SISCA_2013_020.pdf

WEN, G.; SCHOENAU, J. J.; CHARLES, J. L.; INANAGA, S. Efficiency parameters of nitrogen in hog and cattle manure in the second year following application. **Journal Plant Nutrition and Soil Science**. v. 166, n. 4, p. 490-498. 2003. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1002/jpln.200321135>>.

XAVIER, C. A. N.; LUCAS JÚNIOR, J. Qualidade de biofertilizantes obtidos na digestão anaeróbia de dejetos de vacas em lactação confinadas que receberam diferentes dietas. In: II SIGERA – SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS E AGROINDUSTRIAIS. Foz do Iguazu, PR. **Resumos...**Foz do Iguazu, 2011. p.1-4.

YOOTTASANONG, C.; PHOLSEN, S.; HIGGS, D. E. B. Dry matter yields and forage quality of grass alone and grass plus legume mixture in relation to cattle manure rates and production methods. **Pakistan Journal of Biological Sciences**. v.18, no. 7, p. 324-332, 2015.

ZANINE, A. M., FERREIRA, D. J. Animal manure as a nitrogen source to grass. **American Journal of Plant Science**, v. 6, n. 7, p. 899-910, 2015.

CAPÍTULO 2 - Esterco bovino e fertilizante nitrogenado para produção de capim-tifton 85

RESUMO- A intensificação da produção dos animais em sistemas confinados gera grande produção de resíduos (esterco bovino) que podem contribuir para o fornecimento de nutrientes para as plantas, principalmente nitrogênio e fósforo. Além disso, o uso de esterco pode proporcionar melhorias em outros atributos químicos e nos atributos físicos do solo. Diante deste contexto trabalhou-se com a hipótese de que o esterco bovino pode substituir total ou parcialmente o fertilizante nitrogenado industrial na adubação do capim-tifton 85. O objetivo com o presente trabalho foi, deste modo, avaliar o efeito da combinação nitrogênio x esterco na produção de capim-tifton 85. O experimento foi instalado em Latossolo Vermelho eutrófico de textura argilosa e as avaliações foram feitas nos anos agrícolas 2013-2014 e 2014-2015. Os tratamentos consistiram de cinco doses de nitrogênio (N): 0, 50, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹, e cinco doses de esterco (E): 0, 10, 20, 40 e 60 Mg ha⁻¹ combinadas em esquema fatorial. Em cada ano agrícola foram feitas avaliações de novembro a março, em quatro ciclos de crescimento com intervalo de 30 dias. O aumento das doses de esterco e de nitrogênio promoveu acréscimo na produção de massa seca nos quatro ciclos de crescimento, na massa seca total, altura, índice de clorofila e acúmulo de nitrogênio no capim-tifton 85, em ambos os anos de estudo. A combinação das doses de 300 kg ha⁻¹ de N e 40 Mg ha⁻¹ de E proporcionaram a maior produção de massa seca (10.469 kg ha⁻¹) e a maior altura (75,10 cm) em 2013-14. A associação das maiores doses de esterco e de nitrogênio resultaram em melhor desempenho da forrageira em relação a produção de massa seca total (13.305 kg ha⁻¹) no segundo ano de avaliação. Houve aumento de 71 e 88% no acúmulo de nitrogênio no capim-tifton 85 no ano agrícola 2013-14 e, aumento de 126 e 163% em 2014-15, com o uso de esterco e de N-ureia, respectivamente. A recuperação aparente de N com o uso de esterco foi maior no segundo ano de avaliação.

Palavras-chave: clorofila, *Cynodon* spp, recuperação aparente de nitrogênio, ureia

Introdução

O Brasil possui um rebanho bovino de 215,2 milhões de cabeças (BRASIL, 2016) e a estimativa de produção de carne no País em 2023 é de 10.935 milhões de toneladas, o que significa aumento de 28,9%, com representação de 20% do comércio mundial em relação a 2016. Por outro lado, apesar deste crescimento, existe grande variabilidade nos níveis de tecnologia empregados na produção de bovinos de corte no País, indo desde a produção extensiva à produção intensiva (ROSADO JÚNIOR; LOBATO, 2010). Com o aumento da produção animal há, simultaneamente, aumento na demanda de forragens, exigindo assim o uso intensivo do solo e de adubos industriais, principalmente os nitrogenados, resultando em alto custo na produção de forragem.

O sistema de confinamento para a produção de carne vem crescendo no Brasil, beneficiando o período de terminação dos animais para o sistema de produção a pasto e reduzindo o ciclo produtivo. Porém, esse sistema de produção gera elevada produção de esterco que pode ser reaproveitado nas áreas agrícolas para a produção de forragens, com a finalidade de diminuir o uso de adubos industriais e também obter maior eficiência de utilização dos nutrientes, principalmente do nitrogênio (PATRIZI; SERAFIM, 2011).

A produção diária de esterco (fezes e urina) de bovinos leiteiros e de corte é de aproximadamente 45 a 48 kg e de 30 a 35 kg por animal por dia, respectivamente (LACERDA; SILVA, 2014), podendo chegar a até 88,4 kg por animal por dia, dependendo do manejo dos animais (OSHIRO et al., 2016).

Vários estudos têm demonstrado que a aplicação de esterco tem efeito benéfico nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, e muitos destes efeitos são devidos ao aumento do teor de matéria orgânica. Quando o teor de matéria orgânica do solo aumenta, a capacidade de troca de cátions (CTC) também aumenta, permitindo reter nutrientes, tornando-os disponíveis para as plantas (SCOTTI et al., 2015). Essa troca de cátions se manifesta na superfície das partículas dos minerais da fração argila e da matéria orgânica do solo (RAIJ, 2011).

A aplicação de esterco também pode aumentar o valor de pH do solo devido ao poder tampão dos bicarbonatos e ácidos orgânicos contidos no esterco

(WHALEN et al., 2000), e aumentar a complexação de Al^{3+} , com consequente diminuição da toxicidade deste elemento para as plantas (WHALEN et al., 2000; OURIVES et al., 2010). Os esterco são também bons fornecedores de nutrientes, com concentrações de N e P variando de 7,9 a 15,6 g kg^{-1} e de 2,29 a 5,00 g kg^{-1} (base seca), respectivamente (EGHBALL; POWER, 1999). Outros benefícios do aumento da matéria orgânica por meio da aplicação do esterco são o aumento da capacidade de infiltração de água no solo e da estabilidade dos agregados, diminuição da densidade do solo e, em decorrência, da resistência do solo à penetração (NCIIZAH; WAKINDIKI, 2012). A diminuição na densidade do solo deve-se à baixa densidade aparente e à maior porosidade dos materiais orgânicos (GUO et al., 2015).

Com a utilização dos esterco pode-se transformar o problema em solução, pois eles podem tornar a produção de forragem mais eficiente e limitar o impacto negativo da pecuária no ambiente (MELO et al., 2011).

O uso combinado de fertilizantes orgânicos e industriais pode contribuir para a sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola, aumentando a absorção e a acumulação de nitrogênio pela planta e em decorrência, levando à maior eficiência de uso do nitrogênio (JINWEI; LIANREN, 2011; MARTÍNEZ et al., 2016).

Espécies do gênero *Cynodon* são bastante estudadas em relação ao potencial de produção e à qualidade frente à aplicação de nitrogênio proveniente de adubo industrial. Porém, são poucas as pesquisas envolvendo o capim-tifton 85 e o uso combinado de esterco e fertilizante industrial. Trabalhou-se, deste modo, com a hipótese de que o esterco pode substituir total ou parcialmente o fertilizante nitrogenado industrial na adubação do capim-tifton 85, e objetivou-se avaliar o efeito de combinações de N-ureia x esterco bovino na produção de capim-tifton 85.

Material e Métodos

Foi conduzido experimento na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias/Unesp, Campus de Jaboticabal, São Paulo (21° 15'22"S e 48°15'18"W e altitude de 600 m). O clima é úmido com pequena deficiência hídrica anual, mesotérmico e com evapotranspiração de verão

menor que 48% da evapotranspiração anual, classificado como B_{1r}B'_{4a}' de acordo com Thornthwaite (1948). Os dados meteorológicos diários dos períodos em que foram feitas as avaliações nos anos agrícolas 2013-14 e 2014-15 são apresentados na Figura 1, de acordo com os registros da Estação Meteorológica Convencional (EMC) do Departamento de Ciências Exatas da FCAV/UNESP de Jaboticabal.

O solo foi classificado como Latossolo Vermelho eutrófico textura argilosa (ANDRIOLI; CENTURION, 1999). As análises químicas de amostras de solo das camadas de 0,0 a 0,10 m e de 0,10 a 0,20 m coletadas antes do início do experimento foram feitas seguindo os métodos descritos em Raij et al. (2001), a granulometria foi determinada segundo Camargo et al. (2009), e os resultados estão na Tabela 1.

O experimento foi instalado em área de pastagem de capim-tifton 85 estabelecida há mais de dez anos. Adotou-se o delineamento em blocos casualizados em esquema fatorial 5 x 5 com três repetições, totalizando 75 unidades experimentais de 3 m x 3 m cada uma, separadas por carregadores de 1 m. Os tratamentos foram constituídos pela combinação de cinco doses de esterco bovino (0, 10, 20, 40 e 60 Mg ha⁻¹ em base seca) e cinco doses de nitrogênio (0, 50, 100, 200, 300 kg ha⁻¹ de N) na forma de ureia.

No início de cada ano agrícola (novembro) realizou-se um corte de uniformização a 0,10 m da superfície do solo. Após o corte de uniformização, o adubo orgânico e a ureia foram aplicados segundo os tratamentos, e o adubo fosfatado e o potássico foram aplicados em dose constante em todas as parcelas, nos dois anos de avaliação. Foram aplicados 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de superfosfato simples e 30 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de cloreto de potássio. Todos os adubos foram distribuídos manualmente, em superfície e na área total de cada parcela. A adubação nitrogenada foi parcelada em duas vezes, metade da dose no início do ano agrícola (12 e 13 de novembro) e o restante, após o segundo crescimento.

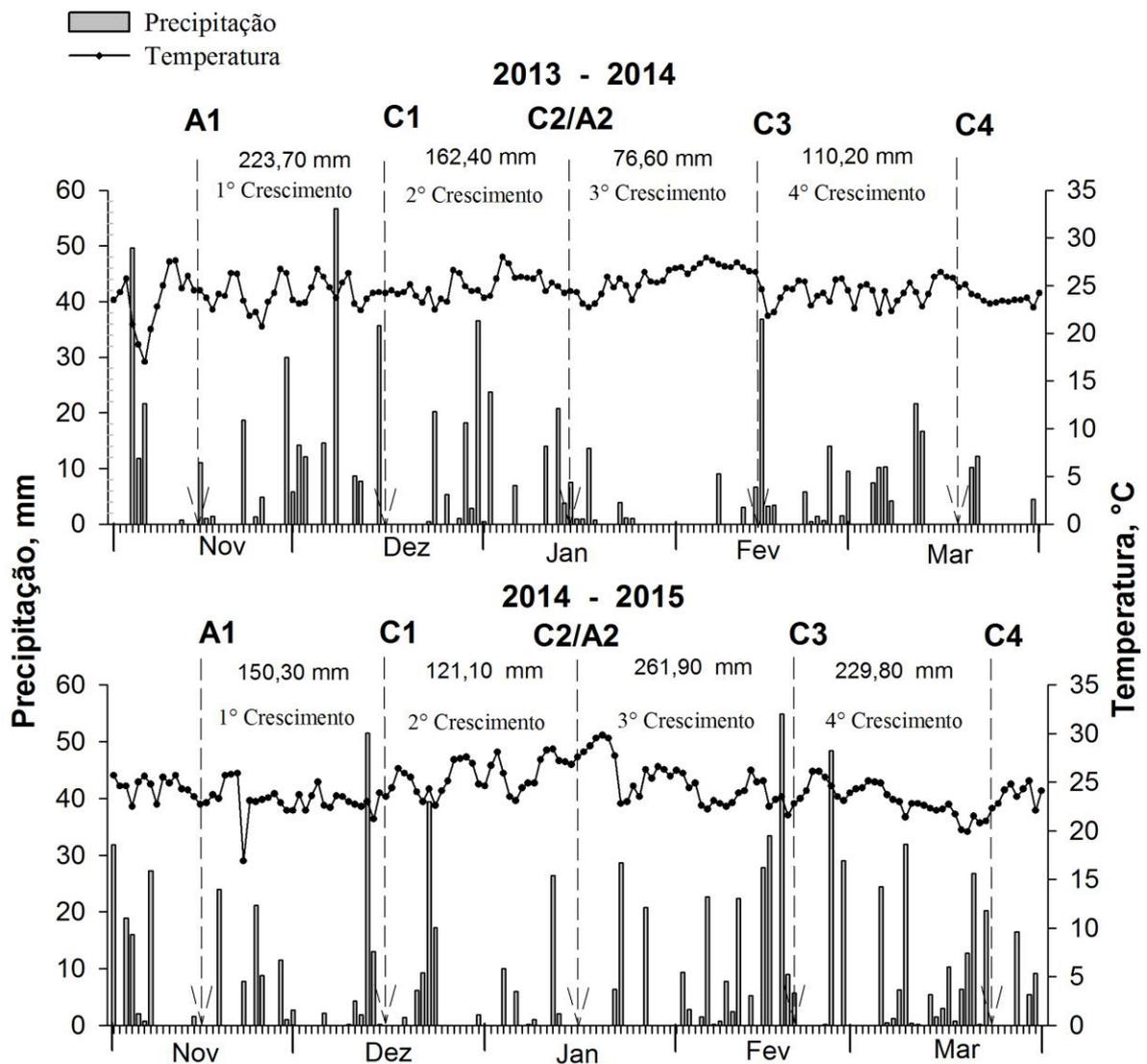


Figura 1. Temperaturas médias e precipitações diárias durante os anos agrícolas 2013-2014 e 2014-2015. A1) adubação nitrogenada e aplicação de esterco; C1) primeiro corte; C2/A2) segundo corte/adubação; C3) terceiro corte; C4) quarto corte.

Tabela 1. Atributos químicos e granulometria do solo nas camadas de 0-0,10 e 0,10-0,20 m.

Camada	pH (CaCl ₂)	MO	P (resina)	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H+Al	CTC	V
m		g dm ⁻³	mg dm ⁻³	mmol _c dm ⁻³					%
0,0-0,10	5,1	29	11	4,3	35	16	32	87	63
0,10-0,20	5,0	26	10	2,8	31	12	38	84	55
		Argila		Silte			Areia		
m		g kg ⁻¹							
0,0 - 0,10		579		139			282		
0,10-0,20		602		120			278		

O esterco bovino curtido (gado de corte) apresentou a seguinte composição química (base seca), em amostra analisada seguindo os métodos descritos em Alcarde (2009): pH 7,0; N-total = 12,7 g kg⁻¹; carbono orgânico = 164,6 g kg⁻¹; relação C/N = 13; P = 4,1 g kg⁻¹; K = 6,6 g kg⁻¹; Ca = 16 g kg⁻¹; Mg = 3,9 g kg⁻¹; S = 2,7 g kg⁻¹; B = 6 mg kg⁻¹; Cu = 52 mg kg⁻¹; Fe 19.706 mg kg⁻¹; Mn = 385 mg kg⁻¹; Zn = 114 mg kg⁻¹.

Foram realizados quatro cortes de capim-tifton 85 por ano em intervalos de 30 dias. A altura de corte foi de 0,1 m e as datas de corte no primeiro e no segundo anos foram: 16-12-13, 15-01-14, 14-02-14 e 18-03-14, e 15-12-14, 15-01-15, 19-02-15 e 24-03-15. Os cortes foram feitos mecanicamente empregando ceifadora com largura de corte de 1,6 m, resultando em uma área útil de 4,8 m².

No dia anterior à colheita foi avaliada a altura em cinco plantas de cada parcela, medindo uma haste por planta, da base do caule até a gema terminal. Com o uso do clorofilômetro (clorofiLOG Falker CFL1030) foi medido o índice de clorofila, em cinco plantas por parcela, realizando-se uma leitura por planta, no terço médio da lâmina foliar da primeira folha recém-madura da haste selecionada para fazer a medida. As leituras foram realizadas entre 8 e 10 h da manhã. No primeiro crescimento do segundo ano de avaliação, não foi possível fazer a medição do índice de clorofila.

Nos dias de colheita das plantas, todo o material cortado foi pesado, dele foram obtidas duas amostras de 0,5 kg, e o restante foi removido das parcelas. Uma das amostras foi colocada em estufa de circulação forçada de ar a 65-70°C. Após atingir peso constante, a amostra foi pesada para determinação de massa seca (MS), a partir da qual foi estimada a produção por corte. A soma da MS produzida nos quatro cortes resultou na produção por ano agrícola. A outra amostra foi lavada em solução aquosa de detergente neutro 1 mL L⁻¹, enxaguada em água corrente, passada em solução de HCl 0,1 mol L⁻¹ e, em seguida, submetida a três enxagues em água destilada. Posteriormente, o material foi secado em estufa a 65-70°C, moído em moinho tipo Willey e levado ao laboratório para a determinação do nitrogênio, segundo método descrito em Carmo et al. (2000). Foi calculado o teor de proteína bruta a partir da concentração de nitrogênio total na planta inteira, multiplicada pelo fator 6,25.

O N acumulado foi calculado a partir da MS e da concentração de N nas plantas. O nível crítico de N na planta foi obtido por meio da relação entre a produção relativa e a concentração do nitrogênio na planta (ALVAREZ V.,1994).

A recuperação aparente de N (RAN) foi calculada com base no N acumulado na MS e a dose de N aplicada, mediante a seguinte expressão (MOLL et al., 1982):

$$RAN = \frac{(\text{acúmulo de N(plantas adubadas)}) - (\text{acúmulo de N (controle)})}{\text{Dose de N aplicada}} \times 100$$

Foram feitas análises de variância (teste F) e de regressão polinomial empregando o programa estatístico AgroEstat (BARBOSA; MALDONADO Jr., 2015).

Resultados e Discussão

Massa seca

No primeiro crescimento de 2013-14, o aumento das doses de N resultou em aumento linear de produção de massa seca de capim no tratamento sem aplicação de esterco. O mesmo comportamento foi observado com aplicação das doses 10, 20 e 40 Mg ha⁻¹ de esterco, chegando a 4.864 kg ha⁻¹ com essa última dose. Com a maior dose de esterco, 60 Mg ha⁻¹, a produção máxima de massa seca foi menor, 4.543 kg ha⁻¹, e foi obtida com a aplicação de 96,45 kg ha⁻¹ de N (Figura 2).

A produção de massa seca no segundo crescimento, tanto em 2013-14 (Figura 2), quanto em 2014-15 (Figura 3) diminuiu em relação ao primeiro. Como a adubação nitrogenada em cobertura foi feita após o segundo crescimento em ambos os períodos e, possivelmente, a maior parte do nitrogênio proveniente da mineralização de resíduos e da primeira adubação tenha sido absorvida no primeiro crescimento, as reservas de N orgânico de mineralização mais rápida presentes no solo devem ter sido consumidas, limitando o crescimento das plantas neste período.

A produção máxima alcançada no segundo e no quarto crescimento em 2013-14 foi de 1.721 kg ha⁻¹ com 99,83 kg ha⁻¹ de N e de 1.649 kg ha⁻¹ de massa seca com 271,33 kg ha⁻¹ de N, com 60 Mg ha⁻¹ de esterco (Figura 2). Em 2014-15 a produção de massa seca no primeiro crescimento apresentou comportamento

quadrático, com o máximo de 4.164 kg ha⁻¹ de massa seca, empregando 60 Mg ha⁻¹ de esterco e 109,4 kg ha⁻¹ de N. No quarto crescimento a produção máxima de massa seca foi 3.036 kg ha⁻¹ com 207,86 kg ha⁻¹ de N e 60 Mg ha⁻¹ de esterco (Figura 3).

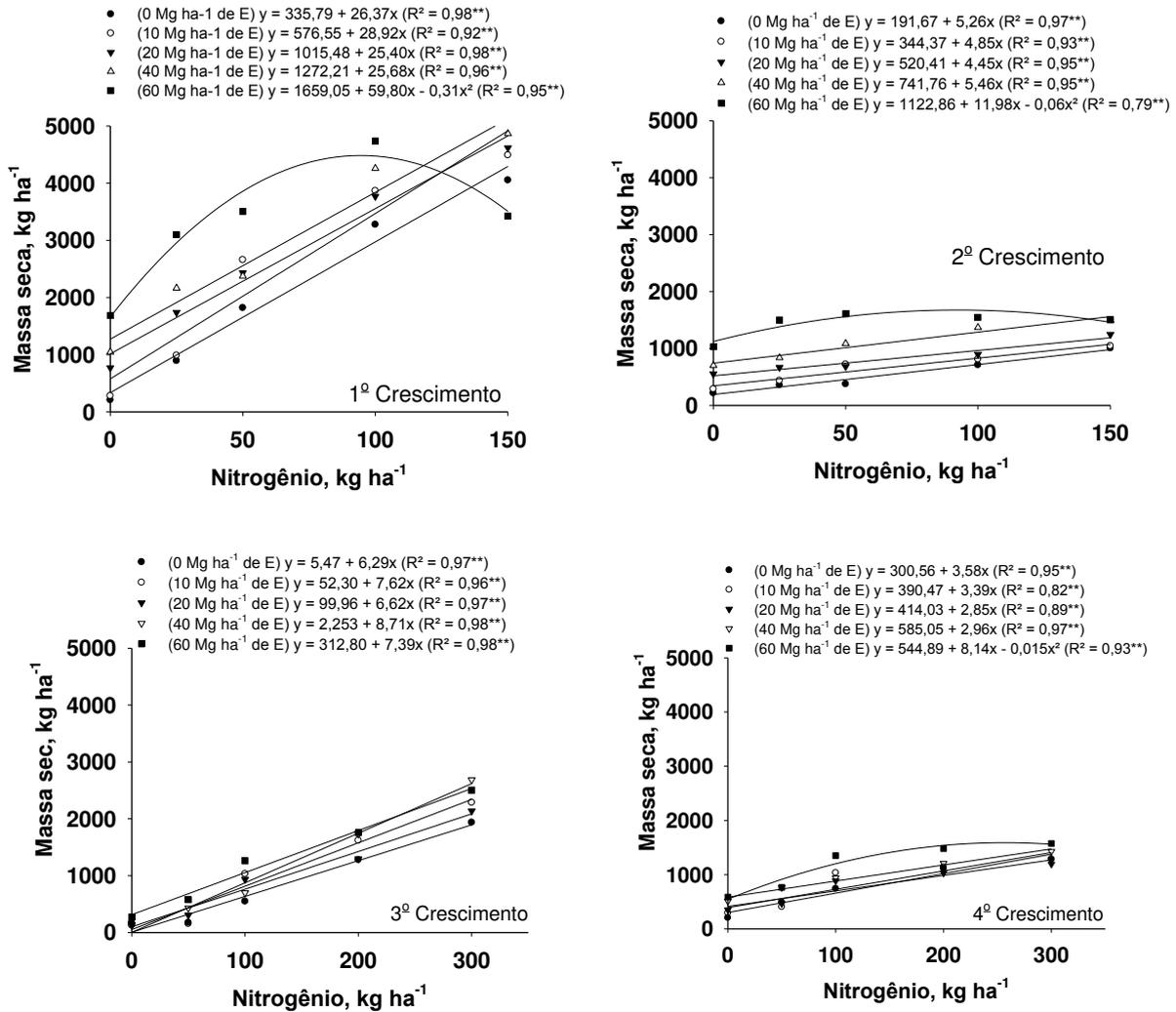


Figura 2. Produção de massa seca em quatro crescimentos de capim-tifton 85, em função da aplicação de nitrogênio e esterco 2013-14.

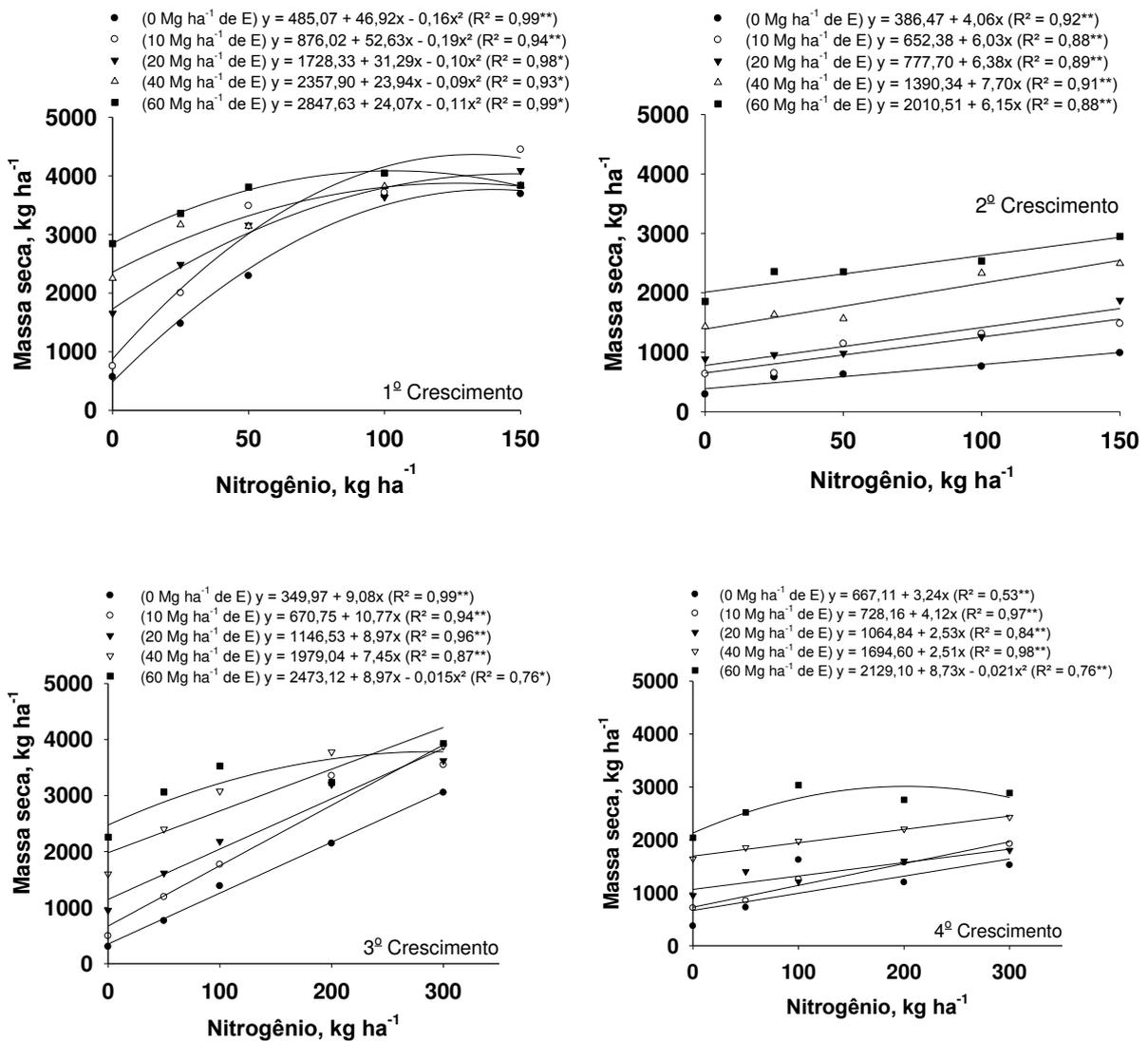


Figura 3. Produção de massa seca em quatro crescimentos de capim-tifton 85, em função da aplicação de nitrogênio e esterco 2014-15.

Apesar de ter sido feita adubação em cobertura após o segundo corte, o aumento na produção no terceiro crescimento foi pequeno, pois as condições de precipitação (76,60 mm) não foram favoráveis (Figura 1). Apesar de pequeno, o aumento foi linear com todas as doses de N. A baixa precipitação nesse período de crescimento não permitiu a difusão e o fluxo de solutos e, conforme Sánchez-Díaz e Aguirreolea (2008), a água é essencial para o transporte e a distribuição de nutrientes na planta e a entrada de água concomitante com os nutrientes permite o aumento do volume celular (SEGURA, 2013).

Avaliando o capim-tifton, Taffarel et al. (2016) obtiveram produção de 3.904 e 4.940 kg ha⁻¹ de MS, aos 28 e 35 dias de rebrota, respectivamente, com o uso de 75 kg ha⁻¹ de N adicionados em cada corte, porém, com chuvas bem distribuídas durante o ano. Segundo Nastaro (2012), a resposta da pastagem à aplicação de fertilizantes nitrogenados em uma região específica depende principalmente do suprimento de nitrogênio do solo e das condições climáticas.

As menores produções de massa seca foram registradas no quarto crescimento, nos dois anos de avaliação. Possivelmente as reservas de N do solo e do esterco não foram suficientes para obter maior produção de massa seca. Eckhardt et al. (2016) comentam que, ao contrário de fertilizantes industriais, a maior parte dos nutrientes presentes nos adubos de origem orgânica, entre eles o N, não estão disponíveis para as plantas. Assim, os compostos orgânicos precisam passar pelo processo de mineralização, que depende de muitos fatores, incluindo água, temperatura e população microbiana do solo.

As aplicações de esterco (E) e de nitrogênio (N) promoveram aumento na produção de massa seca total nos anos agrícolas 2013-14 e 2014-15, e houve efeito significativo da interação E x N ($p < 0,01$). No ano agrícola 2013-2014, a maior produção ocorreu em resposta às doses de 300 kg ha⁻¹ de N e 40 Mg ha⁻¹ de E, atingindo 10.469 kg ha⁻¹ de MS total (somatório dos quatro crescimentos, Figura 4). Com aplicação de 60 Mg ha⁻¹ de esterco e 228,41 kg ha⁻¹ de N, a produção máxima de massa seca total foi de 9.635 kg ha⁻¹ (Figura 4).

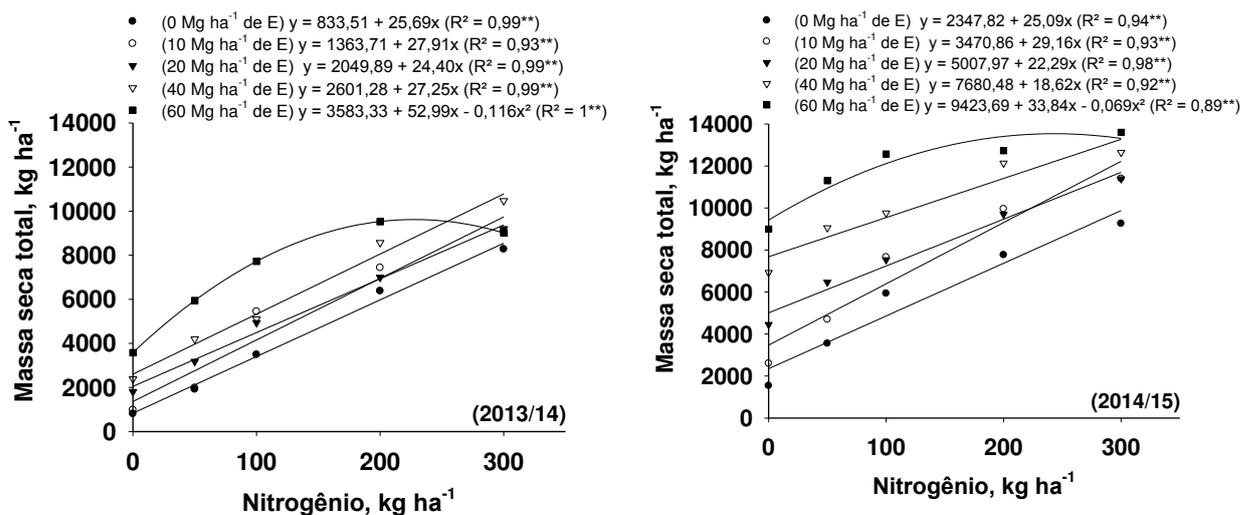


Figura 4. Produção de massa seca total do capim-tifton 85, em função da aplicação de nitrogênio e esterco nos anos agrícolas 2013-2014 e 2014-2015.

No ano agrícola 2014-15, a produção máxima de massa seca acumulada de quatro crescimentos foi de 13.572 kg ha⁻¹ com aplicação de 245 kg ha⁻¹ de N. Esse ganho na produção de massa seca no segundo ano de avaliação pode estar associado às melhores condições climáticas para o desenvolvimento da forrageira, com precipitação pluvial maior e melhor distribuída (Figura 1), mas pode também estar associado ao efeito acumulado das aplicações de esterco feitas no início dos anos agrícolas.

Os resultados do segundo ano agrícola foram semelhantes aos encontrados por Cecato et al. (2001), que registraram produção de massa seca de quatro cortes de tifton 85 variando entre 12,1 a 14,3 t ha⁻¹, porém utilizando 400 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia no período de verão, com intervalos de crescimento de 35 dias. Maiores produções de tifton 85 foram relatadas por Ribeiro e Pereira (2011), que obtiveram, em quatro cortes, 5,75 e 20,46 t ha⁻¹ de MS, com doses de 0 e 400 kg ha⁻¹ por ano de N, respectivamente, e intervalos de crescimento de 28 dias. Em outro estudo de dois anos consecutivos com capim-tifton 85 e 640 kg ha⁻¹ por ano de N (ureia) em condições de campo, Soares (2017) obteve 16,7 e 13,1 t ha⁻¹ de massa seca, respectivamente. A produção do segundo ano é semelhante à que foi obtida no presente estudo, porém com maior dose de N.

Em 2013-2014, a produção de MS com o uso de 60 Mg ha⁻¹, na ausência de ureia, foi de 3.579 kg ha⁻¹. Na condição oposta, 300 kg ha⁻¹ de N na ausência de esterco, a produção foi de 8.276 kg ha⁻¹ de MS. Em relação à maior produção de MS (10.469 kg ha⁻¹) houve diminuição de 6.890 kg ha⁻¹ e de 2.193 kg ha⁻¹ com o uso exclusivo de 60 Mg ha⁻¹ de E e 300 kg ha⁻¹ de N, respectivamente. Por outro lado, em 2014-15 foram obtidas produções de 8.996 kg ha⁻¹ e 9.258 kg ha⁻¹ de MS com o uso apenas da maior dose de E e de N, respectivamente, com diminuição de 4.608 e 4.346 kg ha⁻¹ em relação à maior produção, 13.604 kg ha⁻¹, obtida com a melhor combinação de E x N (60 M ha⁻¹ x 300 kg ha⁻¹). Os resultados obtidos estão de acordo com Wen et al. (2003), que afirmaram que ocorre melhoria na produtividade das plantas no segundo ano após a aplicação do esterco, pois no primeiro ano, somente cerca de metade do N total do esterco é disponibilizado para as plantas.

Altura das plantas

No ano agrícola 2013-2014 a utilização de esterco bovino combinado com ureia promoveu respostas positivas na altura das plantas em todos os crescimentos (Figura 5). No primeiro crescimento, a altura das plantas atingiu 75 cm com a aplicação de 40 Mg ha⁻¹ de E e a maior dose de N (150 kg ha⁻¹ de N) e, com a maior dose de esterco (60 Mg ha⁻¹) e 104 kg ha⁻¹ de N, a máxima altura alcançada foi de 68 cm, conforme a Figura 5. O menor crescimento em altura apresentado no terceiro e quarto crescimentos pode ser explicado pela influência dos fatores climáticos (Figura 1). A falta da água não permitiu o transporte e a distribuição de nutrientes na planta, principalmente do nitrogênio (SÁNCHEZ-DIAZ; AGUIRREOLEA 2008), o que limitou o crescimento.

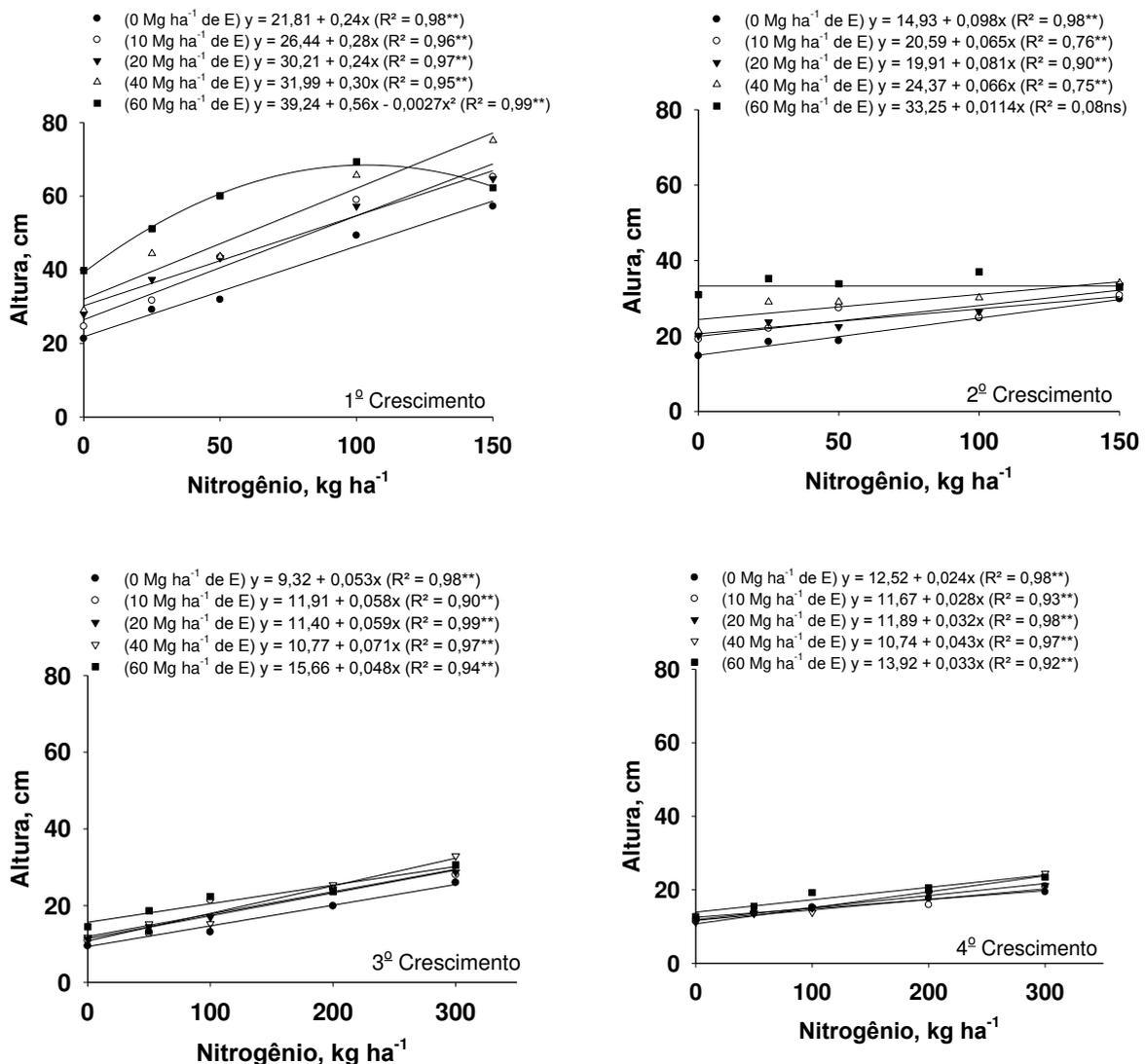


Figura 5. Altura do capim-tifton 85, em função da aplicação de nitrogênio e esterco no período 2013-14.

No manejo da pastagem, o ponto de maior produtividade e qualidade nutricional, quando a planta atinge 95% de interceptação de luz, relaciona-se estreitamente com a altura de entrada e de saída de pastejo, e varia conforme a espécie. De acordo com Moreno (2004), em pastagens do capim-tifton 85 são recomendados 25 cm de altura de pré-pastejo e 12 cm de altura pós-pastejo, tratando-se de pastejo rotacionado e adubado. Deste modo, os valores de altura obtidos aos 30 dias em algumas combinações de doses de N e de esterco, particularmente no primeiro crescimento, ficaram acima do recomendado, e os tempos de pastejo longos podem dificultar o atendimento aos requisitos nutricionais em termos de proteína bruta, pois quando se tem maior altura, há maior proporção de colmo e, em decorrência, menor é o teor de nitrogênio na planta (STOBBS, 1973).

Conforme Silva e Nascimento Junior (2006) é necessário criar ambientes adequados para atender aos requerimentos dos animais não apenas em maior quantidade de massa de forragem, mas também em qualidade. Os autores comentaram que oferta de forragem muito generosa não propicia ganhos no desempenho animal, possivelmente em consequência da composição morfológica e do menor valor nutritivo, pois quando existe oferta excessiva de forragem ocorre maior acúmulo de material morto e colmos, interferindo no desempenho animal e na eficiência de pastejo. No presente caso, como será discutido posteriormente, apesar de a altura ter variado para mais e para menos em relação ao recomendado para situações de pastejo, a qualidade da forrageira em termos de proteína bruta, atendeu ao requerimento dos animais (70 g kg^{-1}).

No ano agrícola 2014-15, o aumento de altura de plantas em função da interação E x N (Figura 6) ocorreu em todos os crescimentos. No primeiro crescimento, a altura foi maior. É possível que a menor altura no segundo crescimento seja reflexo da menor disponibilidade de nutrientes. Ressalte-se que o nitrogênio foi aplicado no início do experimento e após o segundo crescimento. A falta da adição de nitrogênio não permitiu a produção de fitohormônios que são os promotores do crescimento (MARSCHNER, 2012). Portanto, a baixa disponibilidade de N no solo afetou negativamente o crescimento da planta em altura.

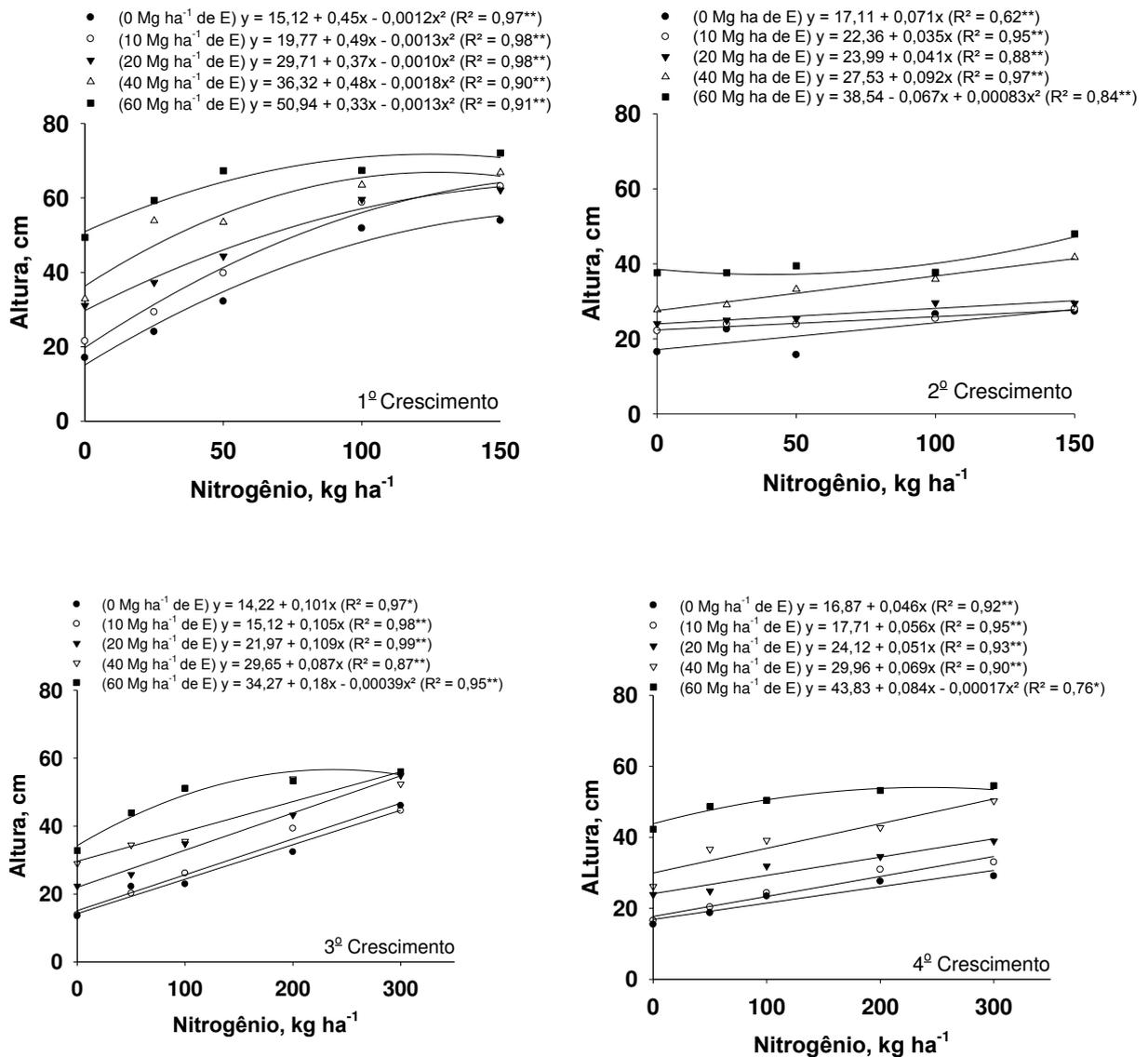


Figura 6. Altura do capim-tifton 85, em função da aplicação de nitrogênio e esterco no período 2014-15.

No segundo ano de avaliação (2014-15), com o uso de 60 Mg ha⁻¹ de esterco, as plantas do capim-tifton 85 alcançaram a altura máxima de 72, 55 e 54 cm, com as doses de nitrogênio de 126,92, 231,0 e 247,0 kg ha⁻¹ no primeiro, terceiro e quarto crescimentos, respectivamente. No ano agrícola 2014-15 não houve limitação de crescimento por falta de chuva (Figura 1) e houve o efeito acumulado das duas aplicações de esterco. De acordo com Zanine e Ferreira (2015) a mineralização dos compostos orgânicos presentes nos adubos orgânicos é lenta, tornando o nitrogênio

disponível ao longo do tempo. Conforme Brady e Weil (2013), compostos estimuladores do crescimento das plantas como vitaminas, aminoácidos, auxinas e giberelinas, são também formados à medida que a matéria orgânica do solo se decompõe.

Índice de clorofila (IC)

O índice de clorofila foi influenciado pelas doses de N e de E ($p < 0,01$) e ocorreu interação significativa (E x N) em cada um dos crescimentos (Figuras 7 e 8). Predominaram respostas lineares às doses de N, exceto nas combinações com 60 Mg ha⁻¹ de esterco nos dois primeiros crescimentos de 2013-2014. Nestes casos a regressão quadrática foi a que deu melhor ajuste

Os maiores índices de clorofila no primeiro e segundo crescimentos no primeiro ano de avaliação foram de 28,66 e 24,89, com a associação de 60 Mg ha⁻¹ de esterco e as doses de nitrogênio de 90,42 e 74 kg ha⁻¹, respectivamente (Figura 7).

No ano agrícola 2013-14, a associação de 300 kg ha⁻¹ de N e 40 Mg ha⁻¹ de E promoveu maiores IC no primeiro, terceiro e quarto crescimentos (30,86; 34,30 e, 29,67, respectivamente, Figura 7). Segundo Vitor et al. (2009), as plantas que crescem em ambiente com maior disponibilidade de N apresentam maior IC nas folhas porque aumentando a concentração de N há maior síntese de clorofila (HAWKESFORD et al., 2012), o que as torna mais verdes; a intensidade da cor é medida pelo clorofilômetro (BULLOCK; ANDERSON, 1998).

No ano agrícola 2014-15, continuou ocorrendo resposta positiva com o uso de 300 kg ha⁻¹ de N e 40 Mg ha⁻¹ de E, alcançando valor máximo de IC de 34,21 no segundo crescimento (Figura 8). Porém, os resultados neste estudo foram menores em relação aos obtidos por Premazzi e Monteiro (2002), que obtiveram IC de 44,2 utilizando 240 mg de N kg⁻¹ de solo em condições de casa de vegetação. Por outro lado, Silva et al. (2011), em condições de campo, registraram IC de 46 utilizando 600 kg ha⁻¹ de N em capim-tifton 85.

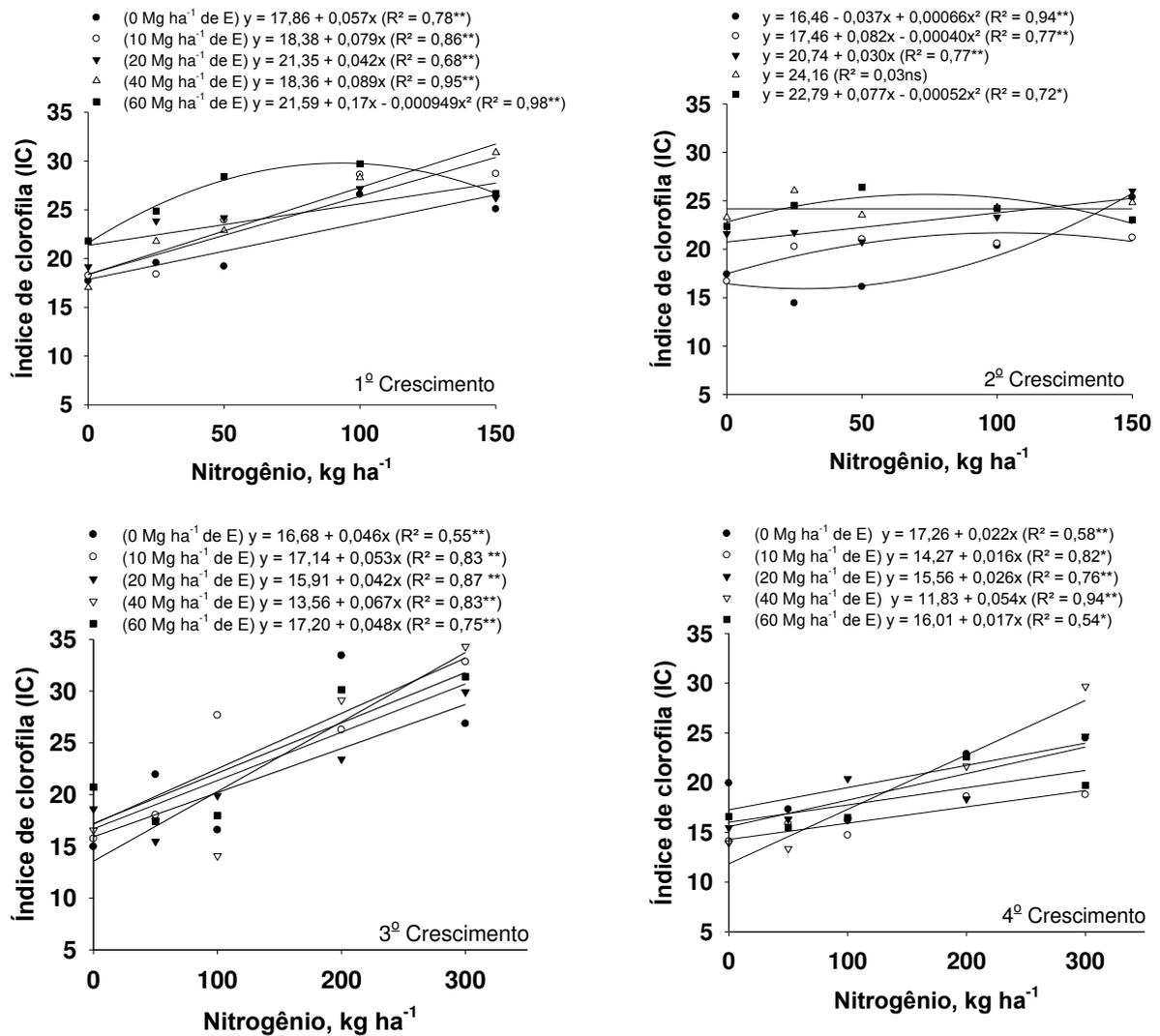


Figura 7. Índice de clorofila do capim-tifton 85, em função da aplicação de nitrogênio e esterco (2013-14).

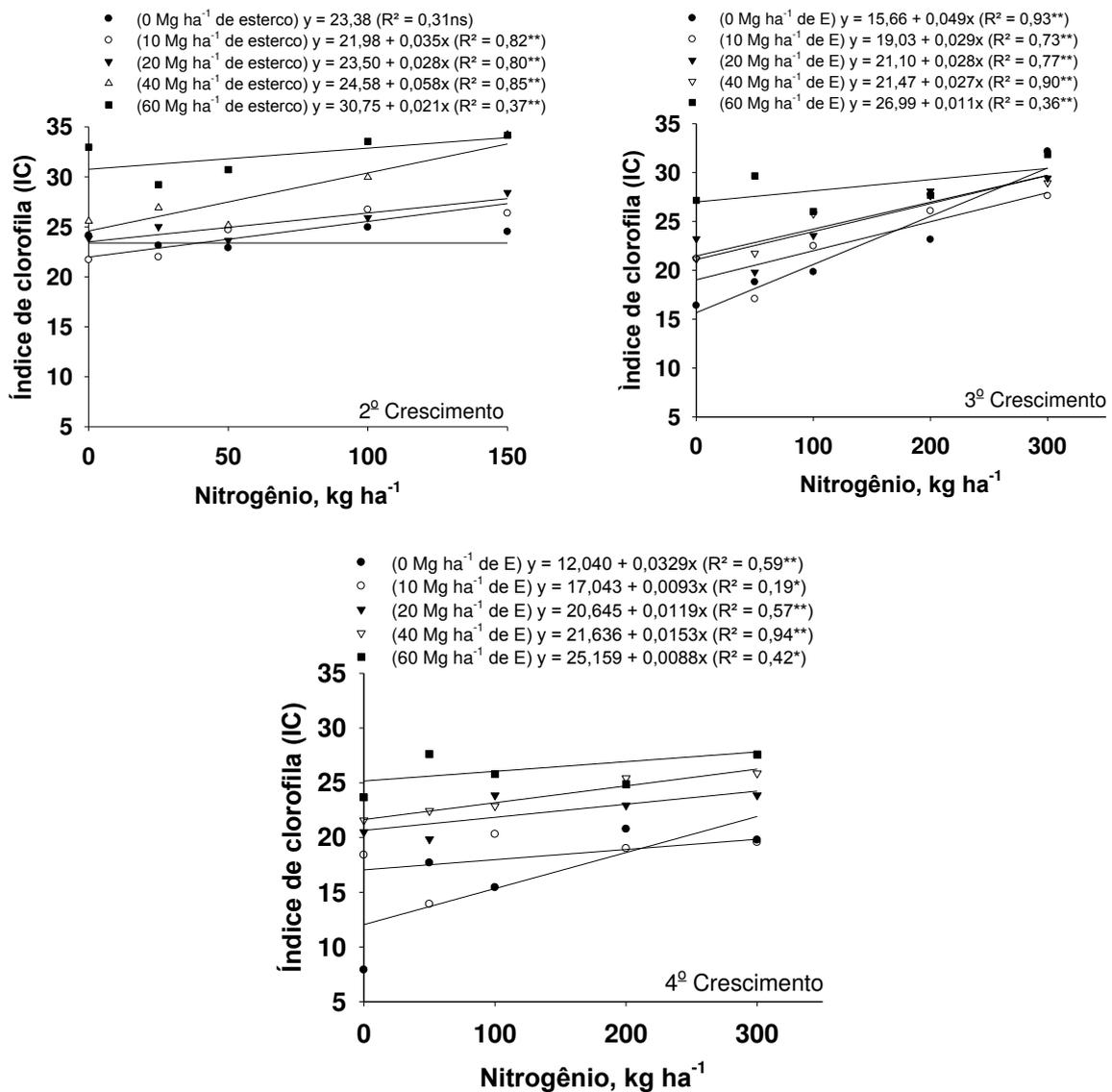


Figura 8. Índice de clorofila do capim-tifton 85, em função da aplicação de nitrogênio e esterco (2014-15).

Na Figura 9 pode-se observar correlação linear positiva entre o teor de nitrogênio nas plantas e o índice de clorofila nas folhas de tifton 85. O coeficiente de correlação foi baixo, possivelmente porque a análise química de N foi feita na planta inteira e não nas lâminas foliares em que foi estimado o índice de clorofila com o clorofilômetro, conforme foi feito por Costa et al. (2008). Estes autores observaram relação direta entre o teor de clorofila e a concentração de N no capim-marandu, utilizando duas fontes de N (sulfato de amônio e ureia) e doses de N (0, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹). Os mesmos autores relataram maior concentração de N (22 g kg⁻¹) nas

plantas adubadas com a maior dose de N na forma de sulfato de amônio do que aquelas adubadas com ureia, podendo ser explicado pela menor perda de N por volatilização de NH_3 do sulfato de amônio. Porém, o resultado é menor em relação ao determinado neste estudo com o uso de 300 kg ha^{-1} de N na forma de ureia e 60 Mg ha^{-1} de esterco.

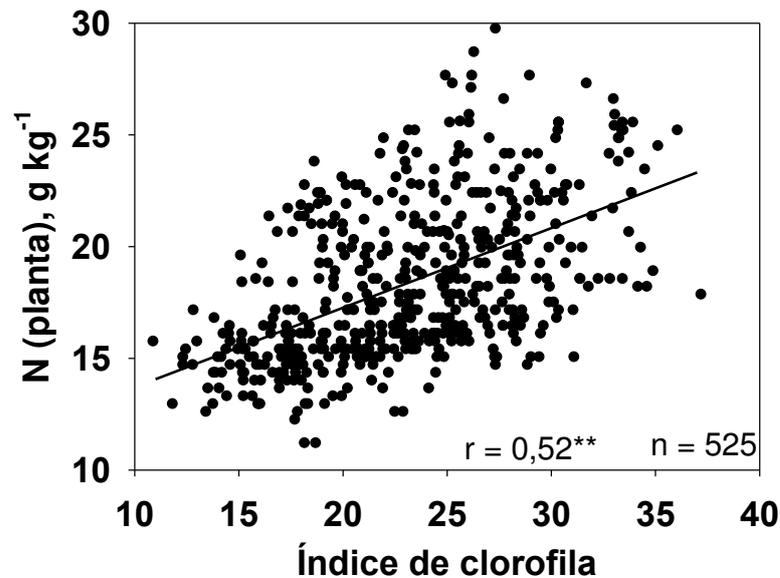


Figura 9. Relação de concentração de nitrogênio na planta e índice de clorofila de tifton 85 em 2013-2014 e 2014-2015.

Nitrogênio acumulado na planta

Não ocorreu interação significativa entre tratamentos para o acúmulo de nitrogênio na planta. Porém, houve aumento linear com o aumento das doses de nitrogênio e de esterco isoladamente, nos dois anos agrícolas (Tabelas 2 e 3).

O uso de esterco resultou em aumento no nitrogênio acumulado na planta de 71 e de 126% no primeiro e segundo anos agrícolas, respectivamente. Por outro lado, o uso de N-ureia aumentou o acúmulo em 88% no primeiro ano agrícola e em 163% no segundo.

No primeiro ano agrícola 2013-14, ocorreu menor acúmulo de nitrogênio com o uso de esterco, resultado que está relacionado principalmente com a menor produção de forragem (Figura 2) e pela baixa disponibilidade dos nutrientes no período de menor precipitação pluvial. O suprimento de N através das aplicações do

esterco no primeiro e segundo anos não foi suficiente para alcançar acúmulo de N na planta semelhante ao obtido com o uso de N-ureia. Isto porque o N orgânico do esterco deve ser mineralizado por ação microbiana para ficar disponível para as plantas (ECKHARDT et al., 2016). Os nutrientes do esterco são liberados gradativamente, proporcionando disponibilidade ao longo do tempo, o que favorece o melhor aproveitamento (BERTON, 1996). O tempo para que a mineralização se complete pode variar de dias a anos, dependendo das condições ambientais do solo como a umidade, a temperatura, a aeração e a qualidade dos resíduos adicionados (BRADY; WEIL, 2013).

Tabela 2. Acúmulo de nitrogênio na parte aérea de capim-tifton 85, em função de doses de esterco bovino e de N-ureia nos dois anos de avaliação.

Tratamentos	2013-2014	2014-2015
Esterco (E) Mg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹ de N	
0	70,06	122,26
10	85,20	151,26
20	89,40	170,20
40	108,60	227,26
60	125,06	282,73
Teste F	19,89**	76,08**
Nitrogênio (N) kg ha ⁻¹		
0	29,66	100,73
50	54,13	146,26
100	85,46	182,13
200	134,60	234,46
300	174,46	290,13
Teste F	150,70**	101,39**
Interação E x N	-----Teste F-----	
	1,58 ns	0,90 ns
C.V.	19,44	14,93

*, **, ns diferença significativa a: P<0,05, P<0,01 e diferença não significativa respectivamente; C.V.; coeficiente de variação.

Tabela 3. Equações de regressão e coeficiente de determinação para acúmulo de nitrogênio em capim-tifton 85, em função de doses de esterco bovino e de N-ureia nos dois anos de avaliação.

Ano	Esterco	R ²	N-ureia	R ²
	Equação		Equação	
2013-2014	$\hat{y} = 72,677 + 0,884x$	0,988	$\hat{y} = 32,168 + 0,488x$	0,994
2014-2015	$\hat{y} = 121,552 + 2,661x$	0,997	$\hat{y} = 111,234 + 0,611x$	0,988

Teor de proteína bruta (PB)

De acordo com Vitor et al. (2009), o nitrogênio tem grande influência no valor nutritivo da forragem. Assim, o teor de proteína aumentou à medida que as doses de E e N aumentaram. Os maiores teores de proteína no primeiro ano foram obtidos no primeiro e terceiro crescimentos, em função das maiores doses de N. Pode-se observar que no segundo ano, os teores de PB foram maiores em função das máximas doses de E e N, no primeiro e quarto crescimentos (Tabelas 4 e 5).

Houve interação significativa apenas no terceiro crescimento, ajustando-se ao modelo linear e ao modelo quadrático, no primeiro e no segundo ano de estudo, respectivamente (Figura 12). O desdobramento mostrou que o esterco não teve influência no teor de proteína bruta, e os valores maiores foram alcançados somente com 300 kg ha⁻¹ de N. (Figura 10). Entretanto, no segundo ano o esterco influenciou no teor de proteína bruta, alcançando 162,61 g kg⁻¹ com 300 kg ha⁻¹ de N e 60 Mg ha⁻¹ de E.

Tabela 4. Proteína bruta do capim-tifton 85, em função da aplicação de nitrogênio e esterco.

Causas de Variação	Crescimentos (2013-2014)				Crescimentos (2014-2015)			
	1°	2°	3°	4°	1°	2°	3°	4°
Esterco (Mg ha ⁻¹) - E	g kg ⁻¹							
0	100,53	94,26	102,37	90,53	135,48	114,11	122,21	127,47
10	104,53	97,87	102,53	91,20	132,42	119,00	118,71	134,00
20	106,60	98,53	102,68	87,87	137,67	123,41	122,06	139,33
40	112,27	101,33	104,71	92,40	148,31	136,35	124,25	144,33
60	112,80	103,67	104,85	96,00	154,73	144,23	136,79	156,00
Teste F	6,93**	7,91**	0,74ns	2,20ns	8,93**	9,82**	8,14**	12,08**
Nitrogênio (kg ha ⁻¹) - N								
0	95,87	95,86	92,02	89,20	124,69	117,90	114,33	139,20
50	98,33	97,00	92,47	91,40	127,46	124,11	118,71	139,00
100	100,73	99,93	102,81	91,80	132,85	128,77	115,50	136,80
200	113,13	102,93	110,85	91,00	152,40	129,50	129,06	138,27
300	128,67	100,93	119,00	94,60	171,21	136,82	146,42	147,87
Teste F	47,44**	4,17**	65,43**	0,95ns	39,16**	3,07*	29,94**	1,97ns
Interação E x N	----- Teste F -----							
	1,70ns	0,37ns	2,12*	0,64 ns	1,15ns	1,20ns	1,96*	0,50ns
C.V.	7,14	4,96	5,42	8,45	8,61	12,14	7,60	8,60

*, **, ns diferença significativa a: P<0,05, P<0,01 e diferença não significativa respectivamente; (L); linear; (-), não significativa; CV coeficiente de variação.

Tabela 5. Equações de regressão e coeficientes de determinação para proteína bruta de capim-tifton 85, em função de doses de esterco e nitrogênio, nos anos agrícolas.

Crescimento	Esterco		N-ureia		
	2013-2014	Equação	R ²	Equação	R ²
1º		$\hat{y} = 101,956 + 0,207x$	0,916	$\hat{y} = 92,909 + 0,111$	0,960
2º		$\hat{y} = 95,375 + 0,144x$	0,949	$\hat{y} = 96,727 + 0,018x$	0,737
3º		$\hat{y} = 102,165$	-	$\hat{y} = 91,001 + 0,095x$	0,967
4º		$\hat{y} = 89,164$	-	$\hat{y} = 89,829$	-
2014-2015					
1º		$\hat{y} = 131,972 + 0,374x$	0,920	$\hat{y} = 120,694 + 0,161x$	0,975
2º		$\hat{y} = 113,955 + 0,517x$	0,993	$\hat{y} = 120,234 + 0,055x$	0,903
3º		$\hat{y} = 118,291 + 0,250x$	0,745	$\hat{y} = 111,132 + 0,105x$	0,892
4º		$\hat{y} = 128,677 + 0,444x$	0,9911	$\hat{y} = 136,873$	-

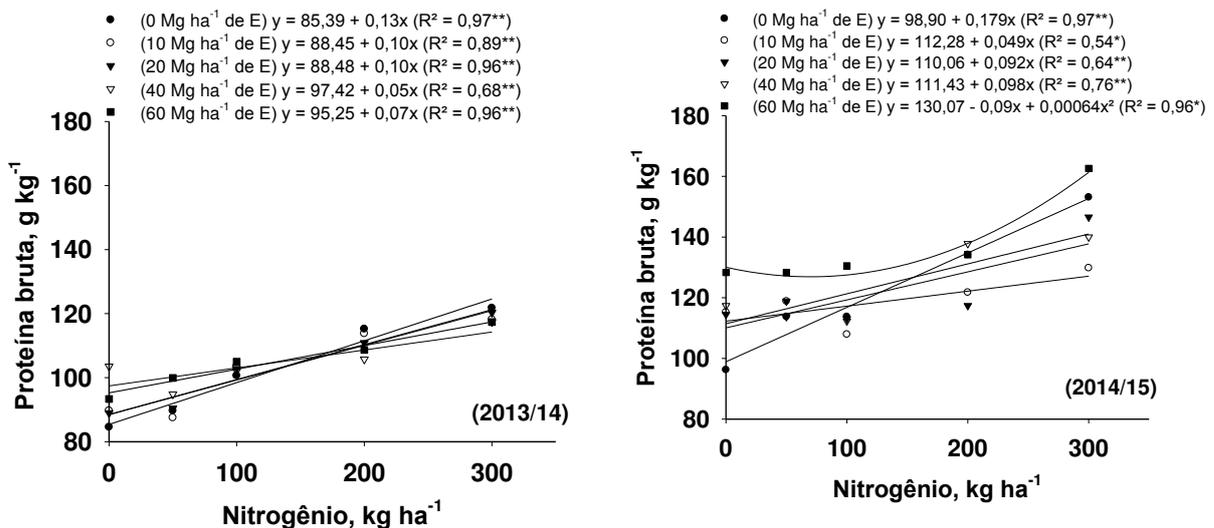


Figura 10. Proteína bruta do capim-tifton 85 no terceiro crescimento, nos dois anos agrícolas.

O efeito da adição do esterco foi mais marcante no segundo ano de estudo. A mineralização dos resíduos orgânicos interfere diretamente na disponibilidade de nutrientes para as plantas. Essa mineralização vai depender de fatores como características físico-químicas e biológicas do esterco, além da temperatura e da umidade do solo (FIGUEIREDO et al., 2012). Cabe ressaltar que no segundo ano houve melhor distribuição da precipitação pluvial (Figura 1), o que pode ter ajudado

na mineralização do esterco e, em consequência, houve maior disponibilidade dos nutrientes.

Os teores de proteína bruta são muito variáveis, dependendo do manejo ao qual a forrageira é submetida. Alvim et al. (1999) registraram teores de 217 g kg⁻¹ com 600 kg ha⁻¹ de N em intervalo de corte de quatro semanas em época de chuvas bem distribuídas durante o ano. No entanto, usando 240 kg ha⁻¹ por ano de N, Quaresma et al. (2011) registraram valores entre 95 a 110 g kg⁻¹ de PB na MS. Em outro estudo com tifton 85, utilizando 400 kg ha⁻¹ de N, Pequeno et al. (2015) obtiveram resultados de proteína de 153 g kg⁻¹.

Os valores de proteína bruta obtidos no primeiro ano deste experimento estão acima do conteúdo crítico para o consumo animal, que é de 70 g kg⁻¹ de PB na MS. A qualidade da forragem do segundo ano, cumpre com os requisitos para consumo de animais em crescimento (110 a 120 g kg⁻¹ de MS) e para vacas em lactação, sendo que a forragem deve conter aproximadamente 150 g kg⁻¹ de PB na MS (DA SILVA; NASCIMENTO JUNIOR, 2007).

Recuperação aparente de nitrogênio

Não ocorreu diferença significativa entre tratamentos com esterco e tratamentos com ureia na recuperação aparente de N. A análise estatística entre anos agrícolas indicou recuperação aparente de nitrogênio (RAN) média de 5,2% e 21,74% nos anos agrícolas 2013-14 e 2014-15, respectivamente (Figura 11) com o uso de esterco.

Em trabalho de Sanderson e Jons (1997) os valores encontrados de RAN foram 26, 25 e 23% (médias de quatro anos), utilizando doses de 66, 132 e 264 kg ha⁻¹ de N total no esterco em capim bermuda var. Coastal (*Cynodon dactylon*). Segundo Figueroa-Viramontes et al. (2010) a RAN é um indicador de eficiência, e quando o nitrogênio total aplicado está acima do requerimento da cultura, ela tende a diminuir.

Com o uso de ureia a RAN média no primeiro ano foi de 43% e no segundo, de 77,17%. No segundo ano o valor obtido ficou próximo do mencionado por Mello

et al. (2008), 65% a 70%, como recuperação aparente do nitrogênio em gramíneas tropicais (Figura 11).

Em 2014-2015, a RAN foi, de modo geral, maior do que no ano agrícola 2013-2014, tanto com o uso de ureia quanto com aplicação de esterco (Figura 11), aumentando em 79,46 e 318%, respectivamente. A maior precipitação pluvial no segundo ano pode ter influenciado o resultado pelo aumento da disponibilidade do nitrogênio, pois a absorção de nutrientes pelas plantas na solução do solo depende muito do teor de água, que carrega os nutrientes dissolvidos para regiões próximas da superfície radicular.

Possivelmente, além do nitrogênio disponível a partir do esterco adicionado no segundo ano, mais nitrogênio estava disponível da primeira aplicação feita no ano agrícola 2013-14, resultando em maior altura (Figura 6), produção de massa seca (Figura 3), e em consequência maior acúmulo de N nas plantas (Tabela 2) no ano agrícola 2014-15.

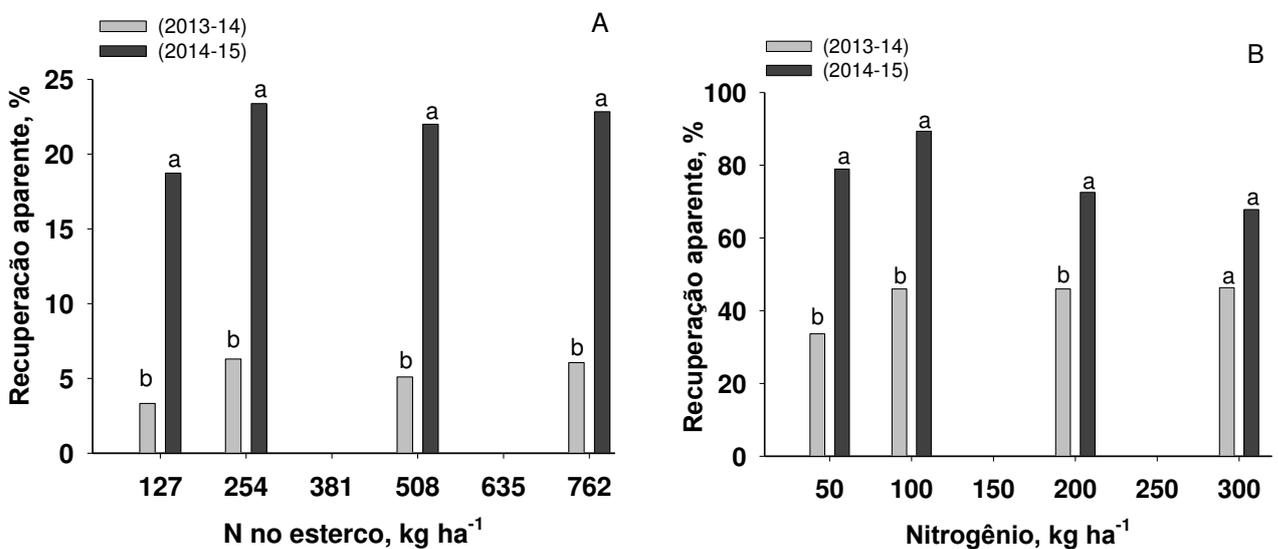


Figura 11. Recuperação aparente de nitrogênio, em função de A) esterco e, B) nitrogênio mineral, em capim-tifton 85.

Agradecimentos

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, UNESP/Câmpus de Jaboticabal; ao Programa de Apoio a Estudantes estrangeiros de Doutorado (PAEDEx), pelo bolsa concedida e ao Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP-México), que contribuíram para a realização desta pesquisa.

Conclusões

O uso de esterco bovino em doses de até 40 Mg ha⁻¹ não substitui a adubação nitrogenada industrial, apenas complementa.

Com o uso de 60 Mg ha⁻¹ de esterco bovino é possível atingir a máxima produção de massa seca usando, em média, 63 kg ha⁻¹ de N a menos na adubação.

A recuperação aparente de nitrogênio com o uso de esterco bovino aumentou 318% no segundo ano de avaliação em relação ao primeiro.

Referências

- ALCARDE, J. C. Manual de análise de fertilizantes. Piracicaba. FEALQ, 2009. p.259.
- ALVAREZ V., V.H. Avaliação da fertilidade do solo (superfícies de resposta – modelos aproximativos para expressar a relação fator-resposta). Viçosa: Minas Gerais, 1994. P. 75.
- ALVIM, M.J.; XAVIER, D.F.; VERNEQUE, R.S.; BOTRELL, M.A. Resposta do Tifton 85 a doses de nitrogênio e intervalos de corte. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.34, n.12, p.2345-2352, 1999.
- ANDRIOLI, I.; CENTURION, J.F. Levantamento detalhado dos solos da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal. In: **Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**. 1999. p. 32.
- BARBOSA, J. C.; MALDONADO Jr. W. **Experimentação agrônômica & AgroEstat: Sistema para análises estatísticas de ensaios agrônômicos**. Multipress, v.1, 396, p. 2015.
- BERTON, R. S. Adubação orgânica. In: RAIJ, B. VAN; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Instituto Agrônômico, 1996. p.30-35. (IAC. Boletim Técnico, 100).

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3 ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. p. 398-436.

BRASIL. Rebanho bovino alcança 215,2 milhões de cabeças em 2015. Portal Brasil, 2016. Acesso em: 14 fev. 2017. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/economia-e-emprego/2016/09/rebanho-bovino-alcanca-215-2-milhoes-de-cabecas-em-2015>>.

BULLOCK, D. G.; ANDERSON DS. Evaluation of the minolta SPAD-502 chlorophyll meter for nitrogen management in corn. **Jornal of Plant Nutrition**, v. 21, n. 4, p. 741-755, 1998. Disponível em:<<http://dx.doi.org/10.1080/01904169809365439>>.

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

CARMO, C. A. F. S.; ARAUJO, W. S.; BERNARDI, A. C. C.; SALDANHA, M. F. C. **Métodos de análise de tecidos vegetais utilizados na Embrapa Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos; 2000.

CECATO, U; SANTOS, G. T.; MACHADO, M. A.; GOMES, L. H.; DAMACENO, J.C.; JOBIM, C.C.; RIBAS, N.P.; MIRA, E.T.; CANO, C.C.P. Avaliação de cultivares do gênero *Cynodon* com e sem nitrogênio. **Acta Scientiarum**, v. 23, n. 4, p. 781-788, 2001.

COSTA, K. A. P.; FAQUIN, V.; OLIVEIRA, I. P.; ARAUJO, J. L.; RODRIGUES, R. B. Doses e fontes de nitrogênio em pastagem de capim-marandu. II-nutrição nitrogenada da planta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. V.32, n.4, p.1601-1607, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000400024>>.

ECKHARDT, D. P.; REDIN, M.; JACQUES, F. L.; SANTOS, M. L.; WEILER, D. A.; ANTONIOLLI, Z. I. Mineralization and efficiency index of nitrogen in cattle manure fertilizers on the soil. **Ciência Rural**. v. 46, n. 3, p. 472-477, 2016.

EGHBALL, B.; POWER, J. F. Phosphorus-and nitrogen based manure and compost applications: corn production and soil phosphorus. **Soil Science Society of America Journal**, v. 63, n. 4, p. 895-901, 1999.

FIGUEIREDO, C. C.; RAMOS, M. L. G.; McMANUS C. M.; MENEZES, A.M. Mineralização de esterco de ovinos e sua influência na produção de alface. **Horticultura Brasileira**, v. 30, n.1, p, 175-179, 2012.

FIGUEROA-VIRAMONTES, U.; CUETO-WONG, J. A.; DELGADO, J. A.; NUÑEZ-HERNÁNDEZ, G.; RETA-SANCHEZ, D. G.; QUIROGA-GARZA, H. M.; FAZ-CONTRERAS, R. MARQUEZ-ROJAS, J. L. Estiércol de bovino lechero sobre el rendimiento y recuperación aparente de nitrógeno en maíz forrajero. **Terra latinoamericana**. v. 28, n.4, p.361-369, 2010.

GUO, L.; WU, G.; LI, Y.; LI, C.; LIU, W.; MENG, J.; LIU, H.; YU, X.; JIANG, G. Effects of cattle manure compost combined with chemical fertilizer on to soil organic matter, bulk density and earthworm activity in a wheat-maize rotation system in Eastern China. **Soil and Tillage Research**. v. 1, n. 156, p. 140-157, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi:10.1016/j.still.2015.10.010>>.

HAWKESFORD, M.; HORST, W.; KICHEY, T.; LAMBERS, H.; SCHJOERRING, J.; MØLLER, S. I.; WHITE, P. Functions of Macronutrients. In: **Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants**. 2nd ed. London: Academic Press; 2012. 135-189.

JINWEI, Z.; LIANREN, Z. Combined application of organic and inorganic fertilizers on black soil fertility and maize yield. **Jornal of Northeast Agricultural University**, v.18, n.2, p. 24-29, 2011.

LACERDA, J.J.J.; SILVA, D.R.G. **Fertilizantes orgânicos: usos, legislação e métodos de análise**. Boletim Técnico. Ministério da educação Universidade Federal de Lavras. MG, 2014. 96p, 1-90p.

MARSCHNER H. **Mineral nutrition of higher plants**. 3.ed London: Elsevier; 2012.

MARTÍNEZ, E.; DOMINGO, F.; ROSELLÓ, A.; SERRA, J.; BOIXADERA, J.; LLOVERAS, J. The effects of dairy cattle manure and mineral N fertilizer on irrigated maize and soil N and organic C. **European Journal of Agronomy**, v. 83, n. 1, p. 78-85, 2016.

MELLO, S. Q. S.; FRANÇA, A. F. S.; LANNA, A. C.; KLIMANN, H. J.; RIOS, L. C.; SOARES, T. V. Adubação nitrogenada em capim-Mombaça: produção eficiência de conversão e recuperação aparente do nitrogênio. **Ciência Animal Brasileira**, v. 9, n. 4, p. 935-947, 2008.

MELO, A. V., GALVÃO, J. C. C., BRAUN, H., SANTOS, M. M., COIMBRA, R. R., SILVA, R. R., REIS, W. F. Extração de nutrientes e produção de biomassa de aveia-preta cultivada em solo submetido a dezoito anos de adubação orgânica e mineral. **Semina**, v. 32, n. 2, p. 411-420, 2011.

MOLL, R. H.; KAMPRATH, E. J.; JACKSON, W. A. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. **Agronomy Jornal**, v.74, n. 3, p.562-564, 1982.

MORENO, L. S. B. **Produção de forragem de capins do gênero *Panicum* e modelagem de respostas produtivas e morfofisiológicas em função de variáveis climáticas**. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Área de Concentração. Ciência Animal e Pastagens). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Piracicaba, 2004.

NASTARO, B. **Parâmetros morfogênicos, nutricionais e produtivos do capim-piatã suprido com combinações de doses de nitrogênio e enxofre**. Dissertação (Mestrado em solos e nutrição de plantas). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Piracicaba, 2012.

NCIIZAH, A.D., WAKINDIKI, I. IC. Aggregate stability and strength of a hardsetting soil amended with cattle manure. **African Journal of Agricultural Research**. v.7, n. 1, p. 68-73, 2012.

OSHIRO, C. R.; DA SILVA, D.A.; HOSKAWA, R. T.; DA SILVA, J. C. G. L.; NAKAJIMA, N. Y. Disponibilidade potencial de esterco da bovinocultura leiteira para energia em cooperativa. In: ENCONTRO INTERNACIONAL SOBRE GESTÃO EMPRESARIAL E MEIO AMBIENTE, 8., 2016, São Paulo. Anais...SP: FEA-USP. 2016. Disponível em: <<http://engemausp.submissao.com.br/18/anais/arquivos/435.pdf> > Acesso em: 18 mar.2017.

OURIVES, O. E. A.; SOUZA, G. M.; TIRITAN, C. S.; SANTOS, D. H. Fertilizante orgânico como fonte de fósforo no cultivo inicial de *Brachiaria brizanta* cv. Marandu. **Revista Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.40, n.2, p. 126-132, 2010.

PATRIZI, W.L.; SERAFIM, R.S. Utilização de sulfato de cálcio (gesso agrícola) como aditivo para minimizar a perda de nitrogênio no esterco de bovinos de corte confinados. **FAZU em Revista**. v.1, n. 8, p.196-201, 2009.

PEQUENO, D. N. L.; PEDREIRA, C. G. S.; SOLLENBERGER, L. E.; FARIA, A. F. G.; SILVA, L. S. Forage accumulation and nutritive value of brachiaria grasses and Tifton 85 Bermuda grass as affected by harvest frequency and irrigation. **Agronomy Journal**, v. 107, n. 5, p. 1741-1749, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.2134/agronj15.0115> >

PREMAZZI LM, MONTEIRO FA. **Produção do capim-tifton 85 submetido a doses e épocas de aplicação de nitrogênio após o corte**. Nova Odessa: São Paulo; 2002. (Boletim de Indústria Animal, 1).

QUARESMA, J. P. S., ALMEIDA, R. G., ABREU, J. G., CABRAL, L. S., OLIVEIRA, M. A., CARVALHO, D. M. G. Produção e composição bromatológica do capim-tifton 85 (*Cynodon spp.*) submetido a doses de nitrogênio. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 33, n. 2, p. 145-150, 2011.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011. 420 p.

RAIJ, B. van.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: IAC; 2001.

RIBEIRO, K.G.; PEREIRA, O. G. Produtividade de matéria seca e composição mineral do capim tifton 85 sob diferentes doses de nitrogênio e idades de rebrotação. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 4, p. 811-816, 2011.

ROSADO JÚNIOR, A. G. LOBATO, J. F. P. Implementation of a performance indicators system in a beef cattle company. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, n.6, p.1372–1380, 2010.

SÁNCHEZ-DIAZ, M., AGUIRREOLEA, J. El agua en la planta. Movimiento del agua en el sistema suelo-planta-atmósfera. In: **Fundamentos de fisiología**. 2. ed. McGraw-Hill. Interamericana. Madrid España, 2013. Parte II. p. 351-376.

SANDERSON, M. A; JONES, E. M. Forage yield, nutriente uptake, soil chemical, changes, and nitrogen volatilization from bermudagrass treated with dairy manure. **Jornal of produção agriculture**, v. 10, n. 2, p. 1997.

SCOTTI, R.; BONANOMI, G.; SCELZA, R.; ZOINA, A.; RAO, M. A. Organic amendments as sustainable tool to recovery fertility in intensive agricultural systems. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**. v. 15, n. 2, p.333-352. 2015. Disponível em:<<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162015005000031>>.

SEGURA, J. Introducción al desarrollo. Concepto de hormona vegetal In: **Fundamentos de fisiología**. Parte II. 2nd ed. Madrid España: McGraw-Hill; 2013. p. 26-38.

SILVA, S. C.; NASCIMENTO JUNIOR, D. Sistema intensivo de produção de pastagens. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE NUTRIÇÃO ANIMAL. 2., 2006, São Paulo. **Anais...** São Paulo, CBNA, 2006. Palestra técnica: Manejo e Nutrição de Ruminantes II CLANA Disponível em: <<http://forragicultura.com.br/arquivos/sistemaintensivoproducaopastagens.pdf>>. Acesso em:08/07/2017.

SILVA, R. V. M. M.; ROSSIELLO, R. O. P.; MORENZ, M. J. F.; BARBIERI JUNIOR, E.; GOMES, R. L. T.; CAMARGO FILHO, S. T. Uso de clorofilômetro na avaliação da adubação nitrogenada e potássica no capim tifton 85. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 12, n. 3, p.828-839, 2011.

SOARES, E. R. **Adubação nitrogenada com inibidor de urease e nitrificação em capim-tifton 85** [tese]. Jaboticabal, SP: Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias; 2017.

STOBBS, T. H. The effect of plant structure on the intake of tropical pastures. I. Variation in the bite size fo graze cattle. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 24, n. 6, p. 809-819, 1973.

TAFFAREL, L. E., MESQUITA, E. E., CASTAGNARA, D. D., GALBEIRO, S., COSTA, B., OLIVEIRA, S. R. Tifton 85 grass responses to different nitrogen levels and cutting intervals. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 37, n. 4, p. 2067-2084, 2016.

THORNTHWAITE, C.W. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, v. 38, p. 55-94, 1948.

VITOR, C. M. T.; FONSECA, D. M.; COSER, A. C.; MARTINS, C. E.; NASCIMENTO JUNIOR, D.; RIBEIRO JUNIOR, J. I. Produção de massa seca e valor nutritivo de pastagem de capim-elefante sob irrigação e adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, MG, v. 38, n. 3, p. 435-442, 2009.

WEN, G.; SCHOENAU, J. J.; CHARLES, J. L.; INANAGA, S. Efficiency parameters of nitrogen in hog and cattle manure in the second year following application. **Journal Plant Nutrition and Soil Science**. v. 166, n. 4, p. 490-498. 2003.

WHALEN, J. K.; CHANG, C.; CLAYTON, G. W.; CAREFOOT, J. P. Cattle manure can increase the pH of acid soils. **Soil Science Society of America Journal**. v. 65, n. 1, p. 962-966, 2000.

ZANINE, A. M., FERREIRA, D. J. Animal manure as a nitrogen source to grass. **American Journal of Plant Science**, vol. 6, n. 7, p. 899-910, 2015.

CAPÍTULO 3 – Formas de carbono orgânico e atributos físicos de um Latossolo em pastagem de capim-tifton 85 adubada com esterco bovino e N-ureia

RESUMO– A maioria das áreas de pastagens no Brasil apresenta problemas de degradação e uma alternativa para melhorar a qualidade física do solo é o uso de esterco bovino. Assim, com objetivo de avaliar os efeitos da adubação com esterco bovino e com N-ureia na qualidade químico-física do solo foi conduzido experimento nos anos agrícolas de 2013-14 e 2014-15, em Jaboticabal, SP, com capim-tifton 85, em Latossolo Vermelho eutrófico textura argilosa. Os tratamentos foram cinco doses de nitrogênio: 0, 50, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹ de N-ureia, e cinco doses de esterco bovino: 0, 10, 20, 40 e 60 Mg ha⁻¹, arranjos em esquema fatorial 5 x 5 com três repetições. As adubações e avaliações nas plantas foram feitas de novembro a março de cada ano e, em amostras coletadas ao final de cada ano agrícola foram determinados o carbono orgânico associado aos minerais, o carbono orgânico particulado e o carbono orgânico total do solo. Para avaliar os atributos físicos do solo foram coletadas amostras no final do ano agrícola 2014-15, nas parcelas correspondentes aos tratamentos que receberam apenas esterco (10, 20, 40 e 60 Mg ha⁻¹) e apenas N-ureia (50, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹), mais um tratamento testemunha (sem adubação com N-ureia e esterco). Os atributos avaliados foram índice de estabilidade dos agregados, diâmetro médio ponderado, classes dos agregados, macroporosidade, microporosidade, densidade do solo e resistência do solo à penetração. Com o uso de N-ureia não houve variação nos teores de carbono orgânico do solo e nas formas de carbono associadas aos minerais e particulada. A aplicação de 60 Mg ha⁻¹ de esterco por dois anos consecutivos aumentou a estabilidade (94,25%) e o diâmetro médio ponderado dos agregados (4,91 mm), e diminuiu a resistência do solo à penetração (0,99 Mpa), devido ao aumento de 36% no teor de carbono do solo.

Palavras-chave: classes de agregados do solo, *Cynodon* spp, resíduo orgânico

Introdução

O Brasil é o segundo maior produtor e exportador de carne bovina no mundo. Diante disso, as pastagens exercem função essencial na produção pecuária, sendo a forma mais prática e econômica para produzir e proporcionar alimento para os bovinos. A maioria dos solos ocupados por pastagens são, no entanto, áreas marginais que apresentam problemas de degradação. Fatores como manejo inadequado e deficiências nutricionais estão entre as principais causas da degradação (DIAS-FILHO, 2014).

Para reverter as condições de degradação são necessários investimentos em adubação e a recuperação das pastagens, podendo resultar em menor emissão de gases de efeito estufa, uma vez que áreas bem manejadas podem ser mais eficientes em estabilizar estoques de carbono (RESENDE et al., 2015). Sistemas de manejo com o uso de materiais orgânicos como o esterco bovino são uma alternativa que, além de prover nutrientes para aumentar a produção da forrageira (ARAUJO et al., 2012), contribui para o acúmulo de matéria orgânica, em longo prazo (MILLER et al., 2012). A matéria orgânica é um restaurador da qualidade de atributos físicos do solo como estabilidade dos agregados, densidade, porosidade (macro e micro), e resistência do solo à penetração (NCIIZAH; WAKINDIKI, 2012).

Durante muitos anos, o termo qualidade do solo foi relacionado diretamente com a produtividade. No entanto, nas últimas décadas, vários autores sugeriram que a qualidade do solo não pode ser diretamente aferida por depender de fatores relacionados ao uso e manejo do solo, mas ela pode ser estimada a partir de indicadores (ARAUJO et al., 2012) de caráter químico, físico e biológico.

O objetivo com o presente trabalho foi avaliar o efeito da aplicação de esterco bovino e de N-ureia nos atributos físico-químicos do solo de uma pastagem de capim-tifton 85.

Material e Métodos

Nos anos agrícolas de 2013-14 e 2014-15, durante a estação das chuvas, foi avaliada a produção de capim-tifton 85 em função de doses de esterco bovino e de

N-ureia, em quatro cortes em cada ano agrícola. O experimento foi conduzido na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus de Jaboticabal, São Paulo, Brasil, em área de pastagem estabelecida há mais de dez anos, sem manejo de adubação.

O solo foi classificado como Latossolo Vermelho eutrófico de textura argilosa (ANDRIOLI; CENTURION, 1999), com 579 g kg⁻¹ de argila, 139 g kg⁻¹ de silte e 282 g kg⁻¹ de areia na camada de 0-0,20 m.

No início do ano agrícola 2013-14 o solo foi amostrado na camada de 0-0,10 m do solo com um trado tipo holandês, para caracterização química, obtendo-se os seguintes resultados: pH CaCl₂, 5,1; matéria orgânica, 29 g dm⁻³; P (resina), 11 mg dm⁻³; K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, H+Al e CTC, 4,3, 35, 16, 32 e 87 mmolc dm⁻³, respectivamente; V, 63%. Os métodos utilizados na análise química estão descritos em Raji et al. (2001).

A análise química do esterco bovino utilizado no experimento apresentou a seguinte composição química (em base seca), seguindo os métodos descritos em Alcarde (2009): pH 7,0; N-total = 12,7 g kg⁻¹; carbono orgânico = 164,6 g kg⁻¹; relação C/N = 13; P = 4,1 g kg⁻¹; K = 6,6 g kg⁻¹; Ca = 16 g kg⁻¹; Mg = 3,9 g kg⁻¹; S = 2,7 g kg⁻¹; B = 6 mg kg⁻¹; Cu = 52 mg kg⁻¹; Fe 19.706 mg kg⁻¹; Mn = 385 mg kg⁻¹; Zn = 114 mg kg⁻¹.

O experimento foi instalado em esquema fatorial 5 x 5, em delineamento em blocos casualizados com três repetições, totalizando 75 parcelas. Foram associadas cinco doses de esterco bovino (E): 0, 10, 20, 40 e 60 Mg ha⁻¹ (base seca) e cinco doses de nitrogênio (N): 0, 50, 100, 200, 300 kg ha⁻¹ na forma de ureia. As parcelas eram de 3 m x 3 m, com área útil de 4,8 m² (1,6 m de largura x 3 m de comprimento). O esterco foi aplicado em superfície no início de cada ano agrícola, após o corte de uniformização (0,10 m), e as doses de N foram parceladas, aplicando-se metade no início e metade após o segundo corte, em cada ano.

Após o quarto corte da forrageira, nos anos 2013-14 e 2014-15, coletaram-se amostras deformadas das 75 parcelas na camada de 0-0,10 m com auxílio de um trado holandês. A coleta foi feita aos 120 dias após a aplicação de esterco (e 60 dias após a aplicação da segunda parcela de N-ureia), coletando-se 12 amostras simples

por amostra. Nestas amostras foi feita a determinação do carbono orgânico total do solo (COS) e o fracionamento físico do C orgânico. A determinação do COS foi feita empregando combustão por via seca em equipamento LECO® CN 628. No fracionamento físico do C orgânico foi obtida a fração particulada (>0,053 mm) e a fração associada aos minerais (<0,053 mm) (CAMBARDELLA; ELLIOT, 1992). Neste procedimento, 20 g de solo seco ao ar e passado em peneira de 2 mm foram transferidos para erlenmeyers de 250 mL, aos quais foram adicionados 60 mL de solução de hexametáfosfato de sódio (5 g L⁻¹). A suspensão foi submetida a agitação durante 15h (150 rpm). A seguir as amostras foram passadas por peneira de 0,053 mm com auxílio de jatos de água. O material retido na peneira corresponde a fração particulada (COP), a qual foi seca em estufa a 50 °C até massa constante. Em seguida, o material foi pesado e moído em almofariz de porcelana e nele foi determinado o teor de carbono empregando combustão por via seca em equipamento LECO® CN 628. O teor de carbono orgânico associado aos minerais (CAM) foi obtido pela diferença COS-COP.

Para avaliar os atributos físicos do solo foram coletadas amostras no final do ano agrícola 2014-15, nas parcelas correspondentes aos tratamentos que receberam apenas esterco (10, 20, 40 e 60 Mg ha⁻¹) e apenas N-ureia (50, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹), mais um tratamento testemunha (sem adubação com N-ureia e esterco). Os atributos avaliados foram índice de estabilidade dos agregados (IEA), classes dos agregados, diâmetro médio ponderado (DMP), porosidade total (PT), macroporosidade (Mac), microporosidade (Mic), densidade do solo (DS) e resistência do solo à penetração (RP).

O índice de estabilidade dos agregados (IEA) foi determinado nas mesmas amostras de solo utilizadas no fracionamento do C, e que foram, neste caso, passadas em peneira de 1 mm. Do material retido na peneira de 1 mm foram pesados 4 g, os quais foram transferidos para peneira com malha de diâmetro de 0,25 mm e levados para oscilação vertical em água (YODER, 1936), a 35 ciclos min⁻¹ e 13 mm de amplitude vertical, durante 3 min. Em seguida, o material retido na peneira foi transferido para lata de alumínio, previamente tarada, e colocado em estufa a 105 °C por 24h. Posteriormente, foi realizada a correção de areia, do seguinte modo: as amostras foram transferidas para frascos para dispersão lenta em

agitador rotatório de Wiegner, a 60 ciclos min^{-1} , por 16 horas, usando 100 mL de NaOH 0,1 mol L^{-1} ; a suspensão foi passada na mesma peneira que reteve os agregados durante o peneiramento úmido; o material retido na peneira foi transferido para lata de alumínio e levado para estufa a 105 °C por 24 h e pesado. Com os pesos dos agregados retidos na peneira com abertura de malha de 0,25 mm e a massa de areia >0,25 mm, foi calculado o IEA, em porcentagem, como descrito por Kemper e Chepil (1965), mediante a seguinte equação:

$$\text{IEA} = 100 \times \frac{(\text{massa de agregados} > 0,25 \text{ mm}) - (\text{massa de areia} > 0,25 \text{ mm})}{(\text{massa da amostra seca}) - (\text{massa de areia} > 0,25 \text{ mm})}$$

Para calcular a proporção dos agregados e o diâmetro médio ponderado (DMP) foram coletados blocos indeformados com auxílio de enxadão. As amostras foram destorroadas e passadas pelas peneiras de 6,3 e 4,0 mm. O solo retido na peneira de 4,00 mm foi seco ao ar. Foram pesados 10 g destes agregados para a determinação do teor de água da amostra, as amostras foram secas em estufa a 105 °C e pesadas.

Do solo retido na peneira de 4 mm foram pesados 25g, os quais foram transferidos para o conjunto de peneiras com malhas de diâmetros de 4,0, 2,0, 1,0, 0,500, 0,250, e 0,125 mm. O conjunto de peneiras foi imerso em água e agitado em oscilador mecânico de Yoder (1936), com frequência igual a 31 ciclos min^{-1} e 35,0 mm de amplitude vertical, durante 15 min. As análises de cada amostra foram realizadas em triplicata, empregando o método de Yoder (1936) descrito por Kemper e Chepil (1965).

Os agregados retidos em cada peneira foram transferidos para cápsulas de alumínio previamente taradas e levados para estufa a temperatura de 105 °C por 24h e pesados. Com os dados de peso de agregados e teor de areia calculou-se a proporção de agregados estáveis em água de cada classe de tamanho em relação à massa inicial das amostras. A correção de areia foi feita empregando o procedimento recomendado por Kemper e Rosenau (1986), do seguinte modo: as frações retidas em cada peneira foram transferidas para frascos para a dispersão lenta em agitador rotatório de Wiegner, a 60 ciclos por min^{-1} , durante 16 h, usando 100 mL de solução de NaOH 0,1 mol L^{-1} ; em seguida, a suspensão foi passada nas

mesmas peneiras com malhas de diâmetro de 4,0, 2,0, 1,0, 0,500, 0,250, e 0,125 mm; o material retido nessas peneiras foi transferido para latas de alumínio e levado para estufa a 105 °C por 24h.

Após a pesagem dos agregados foi calculado o diâmetro médio ponderado (DMP) de acordo com os procedimentos descritos por Kemper e Rosenau (1986), a partir da seguinte equação:

$$DMP = \sum_{i=1}^n (X_i \cdot W_i)$$

em que:

x_i é o diâmetro médio de agregados da i -ésima classe de tamanho;

w_i é a proporção de agregados estáveis, retidos em cada classe de tamanho de agregados, em relação a massa inicial;

n é o número de classes utilizadas.

Na determinação da macro e da microporosidade foram empregadas amostras indeformadas. Na área útil das parcelas foram coletadas três amostras com trado tipo Uhland, através de anéis de aço de bordas cortantes com 0,05 m de altura e 0,05 m de diâmetro, na camada de 0,00-0,10 m. As amostras de solo foram saturadas por meio de uma lâmina de água até atingir cerca de dois terços da altura do anel para posteriormente obter a micro e a macroporosidade pelo método da mesa de tensão, empregando o procedimento descrito em Embrapa (2011). Nessas amostras foi medida a resistência do solo à penetração, utilizando um penetrômetro eletrônico com velocidade constante de penetração. A frequência das leituras da RP correspondeu a 30 leituras por amostra sendo utilizado o valor médio (TORMENA et al., 1998). Após a determinação da RP, as amostras foram secas em estufa com circulação de ar forçada, a 105 -110 °C por 48h, em seguida foi determinada a umidade volumétrica e a densidade do solo (DS) pelo método do anel volumétrico (Embrapa, 2011).

Os dados de C total e frações foram submetidos a análise de variância (teste F) segundo esquema fatorial 5x5 e delineamento em blocos ao acaso com três repetições e, em caso de significância dos efeitos de esterco e nitrogênio, foi feita regressão polinomial. Para os atributos físicos a análise de variância foi feita utilizando delineamento em blocos ao acaso com nove tratamentos e três repetições

e, em caso de significância, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Foi utilizado o programa estatístico AgroEstat (BARBOSA; MALDONADO Jr., 2015).

Resultados e Discussão

Houve efeito das doses de esterco no carbono total do solo e frações, mas não houve efeito da adubação nitrogenada e da interação esterco x nitrogênio, nos dois anos de avaliação (Tabela 1).

Tabela 1. Teores de carbono associado aos minerais (CAM), particulado (COP) e carbono orgânico total do solo (COS), em função de doses de esterco e nitrogênio, nos anos agrícolas 2013-2014 e 2014-2015.

Tratamentos	2013-2014			2014-2015		
	CAM	COP	COS	CAM	COP	COS
Esterco (Mg ha ⁻¹) - E	g kg ⁻¹ de solo					
0	13,31	3,57	16,89	12,42	3,65	16,08
10	14,18	3,98	18,17	12,42	4,44	16,85
20	14,71	3,81	18,52	12,95	4,56	17,51
40	14,55	3,96	18,52	14,31	6,30	20,62
60	15,23	4,14	19,38	15,68	6,21	21,89
Teste F	8,67 **	2,07ns	13,57 **	19,82 **	19,09**	502,23**
Nitrogênio (kg ha ⁻¹) - N						
0	14,50	3,90	18,41	13,11	5,52	18,64
50	14,59	3,92	18,52	13,78	4,93	18,72
100	14,34	4,10	18,45	13,95	4,65	18,60
200	14,62	3,89	18,52	13,29	5,54	18,83
300	13,94	3,65	17,59	14,15	4,52	18,68
Teste F	1,33ns	1,19ns	2,63ns	2,16ns	3,18ns	0,69ns
-----Teste F-----						
Interação N x E	1,13 ns	1,00ns	1,19 ns	0,61ns	0,83ns	0,87ns
CV (%)	6,51	14,71	5,18	8,48	20,60	2,22

*, **, ns diferença significativa a: P<0,05, P<0,01 e diferença não significativa respectivamente; C.V.= coeficiente de variação.

O aumento das doses de esterco resultou em aumento linear do carbono associado aos minerais e do carbono orgânico do solo no ano agrícola 2013-14, e do carbono orgânico associado aos minerais, do carbono orgânico particulado e do carbono orgânico total em 2014-15 (Tabelas 1 e 2). Na avaliação feita no primeiro

ano (2013-14) a aplicação de esterco resultou em aumento de 11% no carbono orgânico total do solo e no carbono orgânico associado aos minerais. No segundo ano agrícola (2014-15) houve aumento de 35, 25 e 69% no carbono orgânico total, associado aos minerais e particulado, respectivamente. Os maiores aumentos no segundo ano refletem o efeito somado das duas aplicações de esterco de até 60 Mg ha⁻¹. Segundo Silva et al. (2010), para obter teores elevados de carbono no solo é preciso utilizar esterco por tempo prolongado e doses altas, maiores até do que as avaliadas no presente estudo. Matos et al. (2008) confirmaram que a adubação orgânica, ao longo dos anos, promove incremento do COS, e relataram teores de 18,2 a 23,5 g kg⁻¹ de C em Argissolo com uso de adubo mineral, e teores entre 22,4 a 30,8 g kg⁻¹ com uso combinado de adubo mineral e esterco bovino, em milho.

Tabela 2. Equações de regressão e coeficientes de determinação para teores de carbono associado aos minerais (CAM), particulado (COP) e carbono orgânico total do solo (COS), em função de doses de esterco e nitrogênio, nos anos agrícolas 2013-2014 e 2014-2015.

Esterco		R ²	N-ureia		R ²
Equação			Equação		
2013-2014					
CAM	$\hat{y} = 13,728 + 0,025x$	0,768**	CAM	$\hat{y} = 14,603$	-
COP	$\hat{y} = 3,711$	-	COP	$\hat{y} = 4,014$	-
COS	$\hat{y} = 17,439 + 0,033x$	0,786**	COS	$\hat{y} = 18,618$	-
2014-2015					
CAM	$\hat{y} = 12,304 + 0,052x$	0,889**	CAM	$\hat{y} = 13,412$	-
COP	$\hat{y} = 3,848 + 0,045x$	0,883**	COP	$\hat{y} = 5,251$	-
COS	$\hat{y} = 16,152 + 0,097x$	0,959**	COS	$\hat{y} = 18,663$	-

O COS e suas frações não foram alterados pelas doses de N nos dois anos de avaliação (Tabela 1), apesar de ter havido aumento na produção de biomassa de parte aérea do capim-tifton 85. O teor de carbono no solo aumenta ao aumentar a produção de biomassa da parte aérea e de raízes nas pastagens, pois as plantas participam na formação de matéria orgânica do solo (GAZOLLA et al., 2015), mas há necessidade de muitos anos para acumular quantidades significativas de matéria orgânica em função da adubação nitrogenada, pois este é um processo lento (MALHI et al., 2006), o que justifica não terem sido obtidas diferenças entre doses de N no presente trabalho.

Outro aspecto que precisa ser considerado e que justifica o não aumento do C do solo com a aplicação das doses de N é o manejo de corte do capim que foi adotado. Nas parcelas do experimento o corte das plantas foi feito a 0,10 m, e todo material cortado foi removido das parcelas. Em sistemas de pastejo há maior probabilidade de aumento do teor de C do solo porque há deposição de grandes quantidades de material morto. À medida que a dose de N aumenta, a quantidade de material morto também aumenta e, com isso, tem-se maior quantidade de resíduos no sistema, que podem resultar em acúmulo de C orgânico. Este efeito foi observado em um estudo de cinco anos, em que Sarmiento et al. (2008) avaliaram doses de N (0, 150, 300 e 450 kg ha⁻¹) em *Panicum maximum* cv. milenium e observaram aumento linear da matéria orgânica devido à maior quantidade de raízes e de material morto (parte aérea), e à maior deposição de fezes.

As pastagens são culturas que favorecem o aumento do teor de carbono do solo e que podem resultar em aumento em relação à vegetação natural, como observado por Wendling et al. (2012), que ao compararem o teor de C da pastagem em relação a vegetação de cerrado ou floresta, observaram maior teor de carbono orgânico na pastagem.

A distribuição do carbono orgânico nas frações CAM e COP, independentemente da aplicação de N ou de esterco, foi de 79 e 21% no ano agrícola 2013-2014 e 73 e 27% em 2014-2015. Portanto, o carbono orgânico associado à fração areia, e que corresponde ao carbono orgânico particulado (>0,053 mm), foi menor nos dois anos de avaliação (Tabela 1).

O índice de estabilidade dos agregados (IEA) no ano 2014-15 aumentou com o aumento das doses de esterco e diminuiu com o aumento das doses de N de forma isolada, sendo maior o IEA com aplicação de esterco (93,67%) do que com aplicação de N (92,57%) (Tabela 3). Componentes da matéria orgânica, como substâncias húmicas e polissacarídeos, atuam como agentes cimentantes, unindo as partículas de solo, o que aumenta sua agregação. Os fertilizantes industriais atuam de forma inversa, gerando dispersão e desfloculação das partículas de argila, afetando a estabilidade dos agregados (ASSIS et al., 2010; SILVA et al., 2014; BRAR et al., 2015).

Por outro lado, comparando o tratamento testemunha com todos os tratamentos, tanto com esterco quanto com nitrogênio, o IEA foi maior no tratamento testemunha. O processo da estabilização dos agregados ocorre pela ação simultânea de processos físicos, químicos e biológicos. Esses processos envolvem substâncias que agem na agregação e na estabilização, sendo as principais: argila, sílica coloidal, carbonato de cálcio, óxido e hidróxido de ferro e alumínio (SOUZA et al., 2004). Outro fator que pode ter beneficiado a agregação do solo na área do experimento é que a única ação mecânica foi o corte das plantas. Segundo Bronick e Lal (2005), a diminuição da perturbação do solo aumenta a agregação e o desenvolvimento estrutural.

Tabela 3. Efeito de N-ureia e de esterco bovino nos atributos físicos índice de estabilidade dos agregados (IEA), macroporosidade (Mac), microporosidade (Mic), porosidade total (PT), densidade do solo (Ds) e resistência do solo à penetração (RP), em avaliação feita aos 120 dias após a segunda aplicação de esterco, no ano agrícola 2014-15.

Tratamentos	IEA	Mac	Mic	PT	DS	RP
	%				g cm ⁻³	Mpa
Esterco (Mg ha⁻¹) -E						
10	92,88 b	12,27	40,46	52,73	1,31	1,48 a
20	93,70 ab	15,80	36,51	52,32	1,27	1,16 ab
40	94,95 a	15,10	37,65	52,75	1,27	1,11 ab
60	94,25 ab	13,16	38,82	51,98	1,31	0,99 b
Teste F	4,55*	2,26 ns	1,69 ns	0,13 ns	1,16 ns	3,36 *
Nitrogênio(kg ha⁻¹) - N						
50	93,15 a	15,23 ab	38,85	54,08	1,27 ab	1,60 a
100	91,46 b	13,02 b	39,78	52,80	1,31 a	1,16 ab
200	91,17 b	19,36 a	34,71	64,07	1,20 b	0,96 b
300	89,05 c	15,26 ab	36,97	52,23	1,26 ab	1,44 a
Teste F	16,77**	5,82 **	2,98 ns	0,86 ns	5,06 *	6,24**
Nitrogênio vs.						
Esterco	91,21	15,71	37,58	53,29	1,26	1,29
Teste F	93,94	14,08	38,36	52,44	1,29	1,18
Teste F	88,64**	4,45 ns	0,73 ns	1,44 ns	4,10 ns	1,78 ns
Trat vs.						
Test	92,57	14,90	37,97	52,87	1,27	1,24
Teste F	93,67	13,88	37,92	51,81	1,28	1,28
Teste F	6,30*	0,77 ns	0,00ns	0,99 ns	0,03 ns	0,11 ns
CV %	0,76	12,83	5,91	3,29	2,91	15,72

*, **, ns diferença significativa a: P<0,05, P<0,01 e diferença não significativa respectivamente; CV = coeficiente de variação.

O uso intensivo do solo promove diminuição da quantidade de macroagregados (OLIVEIRA et al., 2010). Além disso, Silva et al. (2014) indicaram

que a textura também influencia na estabilidade dos agregados, e a agregação do solo é favorecida quando o teor de argila do solo é maior, como pode ser o caso deste estudo, uma vez que o teor de argila na área é 579 g kg^{-1} . O comportamento do solo é dominado pela fração argila devido à pequena dimensão das partículas, o que resulta em superfície específica alta e presença de cargas negativas (DUFRANC et al., 2004).

Com a aplicação de 200 kg ha^{-1} de N foi obtida maior porcentagem de macroporos, menor densidade do solo e menor resistência de solo a penetração. Com o aumento do IEA obtido com a aplicação de doses de esterco maiores do que 20 Mg ha^{-1} houve diminuição nos valores de RP (Tabela 3).

Em relação a Mac, DS, Mic e PT não houve efeito significativo com a aplicação de esterco. Para as duas últimas variáveis também não ocorreu efeito significativo com a adição de nitrogênio (Tabela 3). Porém, os valores da densidade do solo estão dentro da faixa adequada, conforme Stefanoski et al. (2013), os quais mencionaram que para solos franco-argilosos o valor de densidade oscila em torno de $1,55 \text{ g cm}^{-3}$, devendo permanecer no intervalo de 1,1 a $1,6 \text{ g cm}^{-3}$ em solos minerais. No entanto, em experimento feito em casa de vegetação com tifton 85 em latossolo argiloso, como o que foi avaliado no presente estudo, Magalhães et al. (2009), após três cortes da forrageira, determinaram o valor crítico de $1,28 \text{ g cm}^{-3}$.

No caso da resistência do solo à penetração, os dados obtidos em todos os tratamentos deste estudo ficaram abaixo dos valores registrados por Ralich et al. (2007), que observaram maior resistência a penetração das raízes ($3,5 \text{ Mpa}$) em pastagem, devido ao pisoteio dos animais.

A porcentagem de microporos foi maior em relação à de macroporos e, apesar de não ter havido efeito significativo dos tratamentos na porosidade total, os valores foram adequados. Segundo Tavares-Silva et al. (2012) um solo argiloso em condições naturais apresenta boa macroporosidade quando ela está entre 15 e 25 %, podendo diminuir quando os solos são cultivados. Os mesmos autores confirmaram que o solo pode ser classificado como ideal quando apresenta 50 % de porosidade total, valor próximo aos obtidos neste estudo. Segundo Celik et al. (2010), o aumento do teor de matéria orgânica no solo ao longo do tempo, resulta em diminuição da densidade do solo e da resistência à penetração, resultando em

maior estabilidade dos agregados. Fares et al. (2008) também observaram decréscimo significativo na densidade do solo ($1,17 \text{ g cm}^{-3}$) usando esterco bovino incorporado ao solo. Neste estudo foram determinados valores maiores, porque o solo não foi revolvido e a aplicação do esterco foi superficial.

O aumento do DMP foi influenciado pelo uso de esterco (Tabela 4), o que também foi observado por Rasoulzadeh e Yaghoubi (2010) em experimento em laboratório. Os autores observaram aumento de DMP e diminuição da DS com o uso de 60 Mg ha^{-1} de esterco bovino aplicado em solo argiloso.

A maior porcentagem dos agregados estáveis em água nos tratamentos que receberam esterco ocorreu na classe de 6,3 - 4,00 mm (Tabela 4). A formação de agregados de maior tamanho deve-se ao aumento do teor de matéria orgânica obtido pela aplicação do esterco e, possivelmente, também pela ação do sistema radicular da cultura. Hifas de fungos e raízes crescem dentro dos macroagregados, e da decomposição das raízes mortas são produzidos agentes cimentantes capazes de estabilizar os macroagregados do solo (SILVA; MENDOÇA, 2007; LOSS et al., 2011). Raízes fibrosas, como são as das gramíneas forrageiras, promovem altos níveis de macroagregação (BRONICK; LAL, 2005). Conforme Macedo et al. (2012) as forrageiras desempenham papel importante nas propriedades físicas do solo, por terem sistema radicular fasciculado, profuso e profundo, que confere ao solo alta capacidade de estruturação e facilita a infiltração de água.

Ocorreu diferença significativa para todas as classes dos agregados entre tratamentos com nitrogênio e entre tratamentos com esterco, exceto para as classes de 2,0 - 1,0 mm e 0,250 - 0,125 mm. Os valores maiores de DMP podem ser atribuídos à maior quantidade de agregados de maior tamanho (6,3 - 4,00 mm), como consequência do maior teor de matéria orgânica no solo com o uso de esterco bovino (Tabela 4). Castro Filho et al. (1998) afirmaram que o DMP será tanto maior quanto maior for a porcentagem de agregados de maior tamanho e que o menor índice de estabilidade dos agregados deve-se a maior porcentagem de agregados de tamanho $<0,025 \text{ mm}$.

Tabela 4. Diâmetro médio ponderado (DMP) e distribuição dos agregados por classe, após o segundo ano de aplicação de esterco (2014-2015).

Tratamentos	Classes dos agregados (mm)							
	DMP mm	6,3-4,00	4,0-2,0	2,0-1,0	1,0- 0,500	0,500- 0,250	0,250- 0,125	< 0,125
Esterco (E) (Mg ha ⁻¹)								
10	4,62 b	86,85 c	3,75 a	2,00 a	2,27 a	2,29 a	1,24 a	1,58 a
20	4,86 a	91,01 b	3,05 a	1,45 ab	1,18 b	1,40 b	0,64 b	1,24 ab
40	4,91 a	94,53 a	1,19 b	0,94 b	0,73 b	0,80 b	0,76 ab	1,02 ab
60	4,91 a	94,31 a	1,65 b	0,85 b	0,86 b	0,95 b	0,65 ab	0,48 b
Teste F	6,69**	21,67**	30,95 **	11,05 **	22,52 **	15,39 **	3,67 *	4,72 *
Nitrogênio (N) (kg ha ⁻¹)								
50	4,74	89,15 a	3,56 b	1,67	1,70 bc	1,67 b	0,92	1,31 b
100	4,76	89,79 a	3,29 b	1,47	1,53 c	1,62 b	0,95	1,33 b
200	4,61	86,95 ab	3,81 b	1,50	2,27 ab	1,89 ab	1,12	2,43 a
300	4,55	84,28 b	5,38 a	2,09	2,30 a	2,55 a	1,36	2,01 ab
Teste F	3,40 ns	10,41 **	19,03 **	3,15 ns	7,23 **	6,30 **	1,88 ns	6,66 **
Nitrogênio vs.								
Esterco	4,66	87,54	4,01	1,68	1,95	1,93	1,09	1,77
Teste F	4,82	91,67	2,41	1,31	1,26	1,36	0,82	1,08
Teste F								
Trat vs.	17,67 **	57,16**	111,05 **	10,74 **	43,82**	22,35 **	6,49 *	21,28 **
Test								
Trat vs.	4,74	89,61	3,21	1,49	1,60	1,65	0,95	1,42
Test	4,85	90,88	2,11	1,43	1,47	1,59	1,13	1,37
Teste F	3,80 ns	2,39 ns	23,41**	0,15 ns	0,71 ns	1,10 ns	1,21 ns	0,06 ns
CV %	1,92	1,49	12,01	18,58	15,96	18,01	26,06	25,91

*, **, ns diferença significativa a: P<0,05, P<0,01 e diferença não significativa, Trat = tratamentos, Test = testemunha; C.V. = coeficiente de variação.

Conclusões

Com o uso de N-ureia não houve variação nos teores de carbono orgânico do solo e nas formas de carbono associadas aos minerais e particulada.

O uso de 60 Mg ha⁻¹ de esterco aumentou a estabilidade (94,25%) e o diâmetro médio ponderado dos agregados (4,91 mm), e diminuiu a resistência do solo à penetração (0,99 Mpa), devido ao aumento de 36% no teor de carbono do solo.

Agradecimentos

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, UNESP/Câmpus de Jaboticabal; ao Programa de Apoio a Estudantes estrangeiros de Doutorado (PAEDEx), pelo bolsa concedida e ao Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP-México), que contribuíram para a realização desta pesquisa.

Referências

- ALCARDE, J. C. Manual de análise de fertilizantes. Piracicaba. FEALQ, 2009. p.259.
- ANDRIOLI, I.; CENTURION, J.F. Levantamento detalhado dos solos da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal. In: **Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**. 1999. p. 32.
- ARAUJO, E. A.; KER, J C.; NEVES, J. C. L.; LANI, J. L. Qualidade do solo: conceitos indicadores e avaliação. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v.5, n.1, p. 187-206, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5777/PAeT.V5.N1.12>>.
- ASSIS, R. L.; LANÇAS, K. P. Agregação de um nitossolo vermelho distroférrico sob sistema de planto direto, preparo convencional e mata nativa. **Engenharia Agrícola**, v.30, n.1, p. 58-66, 2010.
- BARBOSA, J. C.; MALDONADO JR. W. Experimentação agrônômica & AgroEstat: Sistema para análises estatísticas de ensaios agrônômicos. **Multipress**, v.1, 396, p. 2015.
- BRAR, B.S.; SINGH, J.; SINGH, G.; KAUR, G. Effects of long term application of inorganic and organic fertilizers on soil organic carbon and physical properties in maize-wheat rotation. **Agronomy**, v.5, n.2, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3390/agronomy5020220>>.
- BRONICK, C.J.; LAL, R. Soil structure and management: A review. **Geoderma**, v.124, n.1-2, p.3-22, 2005.
- CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, v.56, n.3, p.777-783, 1992.
- CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 527-538, 1998.

CELIK, I.; GUNAL, H.; BUDAK, M.; AKPINAR, C. Effects of long-term organic and mineral fertilizers on bulk density and penetration resistance in semi-arid Mediterranean soil conditions. **Geoderma**, v. 160, n.2, p. 236-243, 2010.

DIAS-FILHO, M. B. **Diagnóstico das pastagens no Brasil**. Belém: Embrapa, 2014. 38 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 402).

DUFRANC, G.; DENCHEN, S. C. F.; FREITAS, S. S.; CAMARGO, O. A. Atributos físicos, químicos e biológicos relacionados com a estabilidade de agregados de dois latossolos em plantio direto no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, n.3, 2004. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832004000300012>>.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solos**. 2ª. ed. Embrapa Solos. Rio de Janeiro, RJ. Documentos 132. 2011.

FARES, A.; ABBAS, F.; AHMAD, A. DEENIK, J. L.; SAFEEQ, M. Response of selected soil physical and hydrologic properties to manure amendment rates, levels, and types. **Soil Science**, v. 173, n. 8, p. 522-533. 2008. Disponível em: <[doi:10.1097/SS.0b013e318182b063](https://doi.org/10.1097/SS.0b013e318182b063)>.

GAZOLLA, P. R.; GUARESCHI, R. F.; PERIN, A.; PEREIRA, M. G.; ROSSI, C. Q. Fractions of soil organic matter under pasture, tillage system and crop-livestock integration. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 2, p. 693-704, 2015.

KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregates. In: Black, C. A.; Evans, D. D.; White, J. L.; Ensminger, L. E.; Clark, F. E. (ed.). **Methods of soil analysis: Physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling**. Part 1. Madison: American Society of Agronomy, 1965. 2.ed. p.499-510.

KEMPER, W. D.; ROSENAU, R. C. Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. 2.ed. ASA, Madison: American Society Of Agronomy, 1986. Part1, p. 425-442. (Agronomy monograph, 9).

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; SCHULTZ, N.; DOS ANJOS, H. C.; SILVA, E. M. R. Frações orgânicas e índice de manejo de carbono do solo em diferentes sistemas de produção orgânica. **Idesia**, v.29, n.2, 2011.

MACEDO, M. C. M.; ZIMMER, A. H.; KICHEL, A. N.; ALMEIDA, R. G.; ARAÚJO, A. R. Degradação de pastagens, alternativas de recuperação e renovação, e formas de mitigação. In: ALMEIDA JÚNIOR, G. A. STRADIOTTI JÚNIOR, D.; SILVA, E. C. G.; ANDRADE, M. A. N.; ALMEIDA, M. I.V.; CÓSER, A. C. organizadores. **Avanços tecnológicos na bovinocultura e leite**. Alegre, ES: CAUFES, 2012. cap. 4, p. 98-131.

MAGALHÃES, E. N.; OLIVEIRA, G. C.; SEVERIANO, E. C.; COSTA, K. A. P.; CASTRO, M. B. L. Recuperação estrutural e produção de capim-tifton 85 em um Argissolo Vermelho-Amarelo compactado. **Ciência Animal Brasileira**, v.10, n.1, p.68-76, 2009. <<http://www.revistas.ufg.br/index.php/vet/article/view/2211/4572>>.

MALHI, S. S.; LEMKE, R.; WANG, Z. H.; CHHABRA, B. S. Tillage, nitrogen and crop residue effects on crop yield, nutrient uptake, soil quality, and greenhouse gas emissions. **Soil Tillage Research**, v. 90, n. 1-2, p. 171-183, 2006.

MATOS, E. S.; MENDOÇA, E. S.; LEITE, L. F. C.; GALVÃO, J. C. C. Estabilidade de agregados e distribuição de carbono e nutrientes em argissolo sob adubação orgânica e mineral. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.9, p.1221-1230, 2008.

MILLER, J. J.; BREMER, E.; BEASLEY, B.W.; DRURY, C. F.; ZEBARTH, B. J.; LARNEY, F. J. Long-term effect of fresh and composted cattle manure on the size and nutrient composition of dry-sieved soil aggregates. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 92, n. 4, p. 673-683, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4141/CJSS2011-056>>.

NCIIZAH, A.D., WAKINDIKI, I. IC. Aggregate stability and strength of a hardsetting soil amended with cattle manure. **African Journal of Agricultural Research**. v.7, n. 1, p. 68-73. January 2012.

OLIVEIRA, V. S.; ROLIM, M. M.; VASCONCELOS, R. F. B.; PEDROSA, E. M. R. Distribuição de agregados e carbono orgânico em um argissolo amarelo distrocoeso em diferentes manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.9, p. 907-913, 2010.

RAIJ, B. van.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: IAC; 2001.

RALICH, R.; MIRANDA, T. M.; OKUMURA, R. S.; BARBOSA, G. M. C.; GUIMARAES, M. F.; SCOPEL, E.; BALBINO, C. Resistência à penetração de um Latossolo Vermelho Amarelo do Cerrado sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.12, n.4, p. 381-384, 2008.

RASOULZADEH, A.; YAGHOUBI, A. Effect of cattle manure on soil physical properties on a sandy clay loam soil in North-West Iran. **Journal of Food Agriculture and Environment**. v. 8, n.2, p. 976-979, 2010.

RESENDE, T. M.; ROSOLEN, V.; BERNOUX, M.; BRITO, J. L. S.; BORGES, E. N.; ALMEIDA, F. P. Atributos físicos e carbono orgânico em solo sob cerrado convertido para pastagem e sistema misto. **Revista Sociedade & Natureza**, v. 27, n. 3, p. 505-513, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/1982-451320150310>>.

SARMENTO, P.; RODRIGUES, L. R. A.; CRUZ, M. C. P.; LUGÃO, S. M. B.; CAMPOS, F. P.; CENTURION, J. F.; FERREIRA, M. E. Atributos químicos e físicos de um argissolo cultivado com *Panicum maximum* Jacq. cv. IPR-86 Milênio, sob lotação rotacionada e adubado com nitrogênio. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*. v.32, n.1, p. 183-193, 2008.

SILVA, A. S.; SILVA, I. F.; BANDEIRA, L. B.; DIAS, B. O.; SILVA NETO, L. F. Argila e matéria orgânica e seus efeitos na agregação em diferentes usos do solo. **Ciência Rural**, v.44, n.10, p.1783-1789, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20130789>>.

SILVA, I. R.; MENDOÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V.V.H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade de solos**. 1 ed. Viçosa, MG. Sociedade Brasileira de Ciência de Solo, 2007. cap. VI, p. 275-357.

SILVA, J. C. P. M.; MOTTA, A. C. V.; PAULETTI, V.; VELOSO, C.M. FAVRETTO, N.; BARCELLOS, M.; OLIVEIRA, A. S.; SILVA, L. F. C. Esterco de gado leiteiro associado à adubação mineral e sua influência na fertilidade de latossolo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, n.2, 45, p.453-463, 2010.

SOUZA, Z. M.; JUNIOR, J. M.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial da estabilidade de agregados e matéria orgânica em solos de relevos diferentes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.5, p.491-499, 2004.

STEFANOSKI, D. C.; SANTOS, G. G.; MARCHÃO, E. L.; PETTER, F. A.; PACHECO, L. P. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n.12, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662013001200008>>.

TAVARES-SILVA, C. A.; CEZAR, T. C. M.; NÓBREGA, L. H. P. Porosidade de latossolos e práticas de manejo agrícola para conservação do solo. **Varia Scientia Agrárias**, v. 2, n.2, 2012.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 573-581, 1998.

WENDLING, B.; VINHAL-FREITAS, I.C.; OLIVEIRA, R.C.; BABATA, M. M.; BORGES, E. N. Densidade, agregação e porosidade do solo em áreas de conversão do cerrado em floresta de pinus, pastagem e plantio direto. **Bioscience Journal**, v.1, Supplement 1, p 256-265, 2012.

YODER, R. E. A direct method of aggregate analysis of soil and a study of the physical nature of erosion losses. **Journal American Society of Agronomy**, v.28, p.337-351, 1936.