UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ZOOTECNIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS

MARIANA CAMPANA

Potencial de resposta ao nitrogênio em pastos manejados intensivamente

Pirassununga

2017

MARIANA CAMPANA

**POTENCIAL DE RESPOSTA AO NITROGÊNIO DE PASTOS
MANEJADOS INTENSIVAMENTE**

Versão corrigida

Tese apresentada à Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Doutora em Ciências.

Área de Concentração: Qualidade e Produtividade Animal

Orientador: Prof. Dr. Pedro Henrique de Cerqueira Luz

Ficha catalográfica elaborada pelo
Serviço de Biblioteca e Informação, FZEA/USP,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

CM333p Campana, Mariana
Potencial de resposta ao nitrogênio de pastos
manejados intensivamente / Mariana Campana ;
orientador Pedro Henrique de Cerqueira Luz. --
Pirassununga, 2017.
83 f.

Tese (Doutorado - Programa de Pós-Graduação em
Zootecnia) -- Faculdade de Zootecnia e Engenharia
de Alimentos, Universidade de São Paulo.

1. Pastagens intensificadas. 2. Nitrogênio. 3.
ISNT. I. Luz, Pedro Henrique de Cerqueira, orient.
II. Título.

Dedico

Ao meu marido Dinho,
Aos meus filhos Agnes e Tales,
E a minha querida mãe Teresa!

Ofereço

À todas as mães, que assim como eu,
não desistiram dos seus sonhos e
conseguiram, de alguma forma,
conciliar maternidade e realização profissional.

Agradecimentos

À Deus, porque por Ele e para Ele são todas as coisas.

À minha família, que é a base do que sou e que me deu toda ajuda e apoio necessários para concretizar esse sonho.

Ao Prof. Dr. Pedro Henrique, meu orientador, por ter tido paciência e acreditado que eu seria capaz.

Ao Prof. Dr. Otto que disponibilizou seus equipamentos, alunos, espaço e conhecimentos.

A Dra Patrícia Anchão, por me apresentar, lá no passado, o universo apaixonante de pastagens intensificadas e fertilizantes nitrogenados.

Ao Prof. Dr. e amigo Jozivaldo P. G. de Moraes, pela paciência e compreensão.

A banca de qualificação (Prof. Dr. Pedro H. C. Luz, Prof. Dr. Rafael Otto e Prof. Dr. Valdo R. Herling) e defesa (idem, Prof. Dr. Márcio R. Soares e Prof. Dr. Reges Heinrichs), toda a contribuição de vocês certamente enriqueceu meu trabalho.

Ao querido amigo Tiago A. Del Valle por toda atenção dispensada ao longo deste trabalho. E também pelas risadas e carinho. Os momentos passados juntos sempre serão lembrados com carinho!

Aos produtores, universidades e laboratórios pelos espaços e pessoas cedidos para realização deste trabalho. Não citarei nomes aqui para não ser injusta.

Aos colegas universitários, que foram indispensáveis para que esse projeto se realizasse:

- UFSCar: Giovani Antonio (Bocati), Luana Santos Fernandes, Vitória Donadon (Coxinha), Luiz Paulo Veronese (Kotoco), Murilo Fila Gaio (Indigente), Lohanne Neomi Huber (Tala) e aos técnicos de laboratório João Luiz Consonni e Sílvia Raquel Bettani.

- FZEA: Jéssica A. Bet, Gabriela Strozzi e aos técnicos Marcos Ferraz e Paulo Tonetti.

- ESALQ: Thales M. S. Sattolo e Sarah Tenelli.

Às amigas que dividiram o dia a dia pelo WhatsApp comigo. Vocês alegram demais os meus dias e me fizeram permanecer firme no propósito! Obrigada de coração por todas as mensagens, bons momentos e risadas!

Aos amigos Getapistas que sempre estão presentes de alguma forma em tudo que faço.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho, e que por ventura, não intencionalmente tenham sido omitidos os devidos agradecimentos, minha sincera gratidão.

Com todo meu carinho agradeço!

*“Ensina a criança no caminho em que deve andar, e,
ainda quando for velho, não se desviará dele.”*

Provérbios 22:6

SUMÁRIO

Resumo	7
Abstract.....	8
1. INTRODUÇÃO	9
2. REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1. Adubação nitrogenada de pastagens.....	14
2.2. Nitrogênio no sistema solo/planta/animal.....	17
2.3. Avaliação de N no solo	19
3. HIPÓTESES	23
4. OBJETIVOS	25
5. MATERIAL E MÉTODOS	27
5.1. Caracterização do local	28
5.1.1. Histórico das áreas	29
5.1.2. Condições edafoclimáticas locais.....	29
5.2. Delineamento experimental	35
5.3. Parâmetros de solo	36
5.4. Parâmetros de planta	39
5.5. Parâmetros de eficiência do fertilizante nitrogenado	40
5.6. Análises estatísticas	41
6. RESULTADOS	45
6.1. Frações do nitrogênio no solo	46
6.2. Produção e composição química bromatológica da parte aérea das plantas.....	50
6.3. Eficiência de uso do nitrogênio.....	56
6.4. Relação entre atributos químicos do solo e eficiência de uso do nitrogênio	59
7. DISCUSSÃO	61
7.1. Frações do nitrogênio no solo	62
7.2. Produção e composição química bromatológica da parte aérea das plantas	64
7.3. Eficiência de uso do nitrogênio.....	67
7.4. Relação entre atributos químicos do solo e eficiência de uso do nitrogênio	69
8. CONCLUSÃO	71
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73

Resumo

Campana, M. **Potencial de resposta ao nitrogênio de pastos manejados intensivamente.** 2017. 83f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2017.

A adubação nitrogenada é uma estratégia utilizada para melhorar produção e composição bromatológica de forragens. Em pastagens manejadas intensivamente o uso contínuo de fertilizantes cria condições específicas no sistema onde a planta pode alterar sua responsividade ao nitrogênio. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi verificar a curva de resposta ao nitrogênio de pastagens manejadas intensivamente e mensurar a fração N orgânico mineralizável através do método Illinois Soil Nitrogen Test (ISNT) como possível preditor da resposta a adubação. Foram escolhidas 5 áreas com pastos do gênero *Megathyrsus* syn *Panicum* com diferentes tempos de manejo intensivo. Em cada área foi implantado um experimento de curva de resposta ao N utilizando o fonte do nutriente o fertilizante nitrato de amônio nas doses de 0, 50, 100 e 200 kg ha⁻¹ de N corte⁻¹ da forragem. O período de crescimento entre as coletas foi de 28 dias, sendo realizadas 3 amostragens da parte área da pastagem. Amostras de solo foram coletas no pré e pós tratamento. Os teores de ISNT encontrados no pré tratamento foram mais altos do que os normalmente relatados para outras culturas nos trópicos. As áreas com maior tempo de intensificação apresentaram teores de ISNT > 291mg kg⁻¹. A produção de massa seca, teor foliar de N, índice SPAD e NDVI tiveram aumento crescente quando se usou doses mais elevadas de N. As áreas com maior tempo de intensificação tiveram redução da produção de massa seca quando se usou a maior dose do fertilizante nitrogenado. Os teores de PB variaram de 15-22% e estão muito acima dos encontrados na literatura para pastagens do gênero *Megathyrsus* syn *Panicum*. Os índices de eficiência de uso do nitrogênio foram baixos, caracterizando a dependência do nitrogênio oriundo do solo para esses cenários de manejo de pastagens. Dentre as áreas avaliadas não se encontrou ausência de resposta à adubação nitrogenada. O ISNT e N mineral presentes no solo foram inversamente relacionados à resposta produtiva dos pastos. Esse estudo mostra potencial em utilizar índices de nitrogênio do solo para o manejo da adubação nitrogenada de pastagens intensivas.

Palavras chaves: eficiência; ISNT; pastagens, plantas forrageiras, trópicos

Abstract

Campana, M. **Nitrogen response potential for intensively managed pastures.** 2017. 83f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2017.

Nitrogen fertilization is a strategy used to improve the production and bromatological composition of forages. In intensively managed pastures the continuous use of fertilizers creates specific conditions in the system where the plant can change its responsiveness to nitrogen. Thus, the objective of this work was to verify the nitrogen response curve of intensively managed pastures and to measure the mineralizable organic N fraction through the Illinois Soil Nitrogen Test (ISNT) as a possible predictor of the fertilization response. Five pasture areas of the genus *Megathyrsus* syn *Panicum* were selected with different times of intensive management. In each area an N response curve experiment was implemented using the nutrient source the ammonium nitrate fertilizer at doses of 0, 50, 100 and 200 kg ha⁻¹ of N cut⁻¹ of the forage. The period of growth between the collections was of 28 days, being realized 3 samplings of the part of the pasture. Soil samples were collected in pre and post treatment. The ISNT levels found in pre-treatment were higher than those normally reported for other crops in the tropics. The areas with the greatest intensification time presented NPH levels > 291 mg kg⁻¹. Dry mass, N content, SPAD index and NDVI index increased with higher N doses. Areas with higher intensification times had a reduction in dry mass production when the highest nitrogen fertilizer dose was used. Crude protein levels varied from 15-22% and are well above those found in the literature for pastures of the genus *Megathyrsus* syn *Panicum*. Nitrogen use efficiency indexes were low, characterizing soil nitrogen dependence for these pasture management scenarios. Among the evaluated areas there was no absence of response to nitrogen fertilization. The ISNT and mineral N present in the soil were inversely related to the productive response of the pastures. This study shows the potential of using soil nitrogen rates to manage the nitrogen fertilization of intensive pastures.

Keywords: efficiency; forage, ISNT; tropical pastures, Tropics

1. INTRODUÇÃO

O Brasil possui grande parte do seu território agrícola destinada às pastagens, onde observa-se variedade muito grande nos sistemas de produção pecuária com diferentes graus de intensificação e de aplicação de tecnologia (MACEDO *et al.*, 2013) e, conseqüentemente, na forma como os produtores utilizam e manejam as pastagens. Na maior parte das propriedades dedicadas à pecuária observa-se pouco ou nenhum uso de fertilizantes e corretivos em pastagens, gerando baixa capacidade de uso de pastagens pelos animais (COSTA *et al.*, 2008a). Entretanto, nos últimos anos tem sido observada maior capacitação do produtor e aumento da pressão mercadológica visando melhorias dos índices zootécnicos e produção sustentável. É importante lembrar que devido à cadeia do ciclo pecuário ser longa é necessário pelo menos uma década para que os resultados oriundos das mudanças possam ser visualizados (POLAQUINI *et al.*, 2006).

De acordo com dados recentes, apenas um número restrito de propriedades adota algum tipo de tecnologia ou de sistema intensivo de manejo. Nessas áreas, a produtividade por hectare atinge patamares competitivos (BALSALOBRE *et al.*, 2002; OLIVEIRA *et al.*, 2008). Dessa forma, observa-se uma pressão crescente para intensificação dos modelos de produção nacional devido à restrição quanto ao desmatamento e abertura de novas áreas; aumento de área destinada à agricultura e valorização da terra; maior estabilidade econômica; necessidade de controle dos processos de degradação de pastagens e solo. Além disso, deve-se considerar ainda a preocupação crescente com o equilíbrio e sustentabilidade ambiental. Existe uma gama grande de tecnologias desenvolvidas em universidades e centros de pesquisas que podem ser utilizadas para melhoria das pastagens, da produção de carne ou leite e, conseqüentemente, redução da contaminação ambiental pelo uso racional e eficiente da terra.

A capacidade de suporte do pasto e o valor nutritivo da planta dependem da espécie forrageira escolhida, fertilidade do solo, utilização de adubação, manejo da planta, entre outros. Considera-se o fornecimento de nitrogênio para a pastagem o fator de maior impacto na produção de forragem quando as demais condições edafoclimáticas não são limitantes (EUCLIDES *et al.*, 2007). Todavia, existe grande discrepância observada na literatura quanto à resposta das forrageiras submetidas a adubações nitrogenadas que pode estar associada com a relação do N com outros nutrientes, disponibilidade dos demais elementos, efeito residual de adubações anteriores, manejo adotado para a pastagem, taxa de lotação utilizada, dose, fonte e forma de

aplicação do adubo nitrogenado, características edafoclimáticas do local, suprimento de água fornecido à pastagem, dentre outros. A divergência de dados na literatura induz muitos extensionistas a recomendarem através de métodos empíricos elevadas doses de fertilizantes, buscando aumento da produtividade das pastagens. Entretanto, o uso indiscriminado de N pode aumentar o custo de produção (VITTI *et al.*, 2007), causar danos ambientais (CARVALHO e ZABOT, 2012) e às pessoas.

Formas empíricas de recomendação, a falta de parâmetros seguros e os resultados divergentes na literatura, corroboram para criação de fatores limitantes na definição de estratégias eficientes da adubação nitrogenada em sistemas intensivos (SANTOS *et al.*, 2007). Inúmeros trabalhos na literatura demonstram respostas produtivas e qualitativas de pastagens tropicais quanto à aplicação de fertilizantes nitrogenados nos mais diversos cenários. Porém, são escassas as pesquisas em áreas que adotem o sistema intensivo de manejo que apresenta dinâmica complexa entre solo-planta-animal. Essa ausência de informações prejudica a criação de estratégias de fertilização nitrogenada nessas áreas e corrobora para o uso de metodologias empíricas de recomendação que podem superestimar as doses de nitrogênio. A ausência de resposta produtiva à adubação nitrogenada na cultura do milho, da cana-de-açúcar e outras tem sido reportada por diversos autores (RAIJ, 1991; ARAUJO *et al.*, 2004; SHARIFI *et al.*, 2011; OTTO *et al.*, 2013), contudo em pastagens tropicais manejadas intensivamente ainda são poucos os trabalhos que tem observado esse fato (AGUIAR *et al.*, 2008; CAMPANA, 2008; OLIVEIRA *et al.*, 2009).

Recomendações de adubos e corretivos para pastagens são comumente realizadas em função da realização de uma análise química de solo. Contudo, as análises laboratoriais existentes para quantificação do nitrogênio do solo são onerosas e não tem sido observada viabilidade prática e econômica para o uso rotineiro na recomendação de fertilização nitrogenada para as culturas, ficando restritas à experimentação. A dinâmica do nitrogênio no solo e a forma de captação do nutriente pela planta também dificulta na realização de uma análise que consiga expressar o nitrogênio disponível para a cultura. O teste de nitrogênio do solo de Illinois (ISNT) surge apresentando boa correlação entre o nitrogênio avaliado e a disponibilidade do mesmo para a lavoura, possibilitando a recomendação nitrogenada (MULVANEY e KHAN, 2001).

Sendo assim, pesquisas que abordem esse contexto são de grande valia, pois estudos desse tipo podem permitir recomendações específicas com melhores respostas técnicas, operacionais e econômicas ao uso do fertilizante nitrogenado maximizando seu uso e diminuindo possíveis efeitos ambientais e financeiros negativos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Adubação nitrogenada de pastagens

Sistemas intensivos de pastejo produzem grande quantidade de massa exigindo que a planta retire do solo e/ou utilize de suas reservas grandes quantidades de nutrientes. De forma geral, boletins de recomendações de adubos e corretivos abordam as espécies forrageiras mais utilizadas para pastagens (WERNER *et al.*, 1996; CANTARUTTI *et al.*, 1999; VILELA *et al.*, 2002). Alguns autores demonstraram como desvantagens do uso de boletins a escassez de atualizações dos mesmos (CANTARUTTI *et al.*, 2001), visto que as tabelas de recomendação não acompanham o desenvolvimento das pesquisas. No estado de São Paulo ainda é muito utilizado o *Boletim 100*, onde são citados apenas três grandes grupos distintos de forrageiras e a recomendação rotineira para fertilização nitrogenada é de 40 a 50 kg ha⁻¹ de nitrogênio aplicado trinta dias após a germinação da gramínea (WERNER *et al.*, 1996). Essa recomendação é conservadora (CANTARUTTI *et al.*, 1999), porém, adequada para a maioria dos pecuaristas brasileiros, pois se trata de recomendação mínima para evitar a degradação de pastagens. As sugestões de fertilização nitrogenada são realizadas em função da taxa de lotação animal estimada, sendo a dose anual de 50 kg ha⁻¹ de nitrogênio recomendada para sistemas de produção extensivos. Já para manejos intensivos com utilização de espécies forrageiras mais responsivas, a dose sugerida é de 100 a 300 kg ha⁻¹ de nitrogênio aplicada em cobertura de forma parcelada (50 kg ha⁻¹ por corte) (CANTARUTTI *et al.*, 1999).

Recomendações empíricas que são comumente usadas na prática adotam o princípio que 1 kg ha⁻¹ de nitrogênio aplicado produz em média 40 a 50 kg ha⁻¹ de massa seca, sendo a recomendação de nitrogênio feita em função da carga animal que se pretende colocar na área (SANTOS *et al.*, 2007). Tem-se evidências de que pastagens tropicais em manejo intensivo podem responder até doses de 1800 kg ha⁻¹ de nitrogênio (MELLO *et al.*, 2008). Porém, um aumento na dose de fertilizante nitrogenado nem sempre implica em crescimento linear de produção e eficiência de uso (VENDRAMINI *et al.*, 2007). No dia a dia das fazendas com alta tecnificação que utilizam, por exemplo, pastagens responsivas, manejo rotacionado do pasto, fertilizações e correções do solo aliados ao acompanhamento frequente do técnico, tem-se observado na recomendação de boletins de campo, o uso de doses anuais de 700 a 1000 kg ha⁻¹ por ano de nitrogênio (CAMARGO *et al.*, 2002; CAMARGO *et al.*, 2005; DALPHIAN *et al.*,

2012), aplicadas de forma parcelada. Metodologias empíricas de recomendação, a falta de parâmetros seguros e os resultados adversos na literatura, corroboram para criação de fatores limitantes na definição de estratégias eficientes da adubação nitrogenada em sistemas intensivos (SANTOS *et al.*, 2007).

Pesquisas com foco na sustentabilidade das pastagens sugerem que esses sistemas de produção são autosustentáveis, exigindo pequena ou nenhuma reposição dos nutrientes removidos pela forrageira (CORSI e MARTHA JR, 1997). A quantidade de nutrientes que retornam ao solo através dos dejetos bovinos varia de acordo com o sistema produtivo adotado, influenciando também a resposta da forrageira. Acredita-se que sistemas de pastejo bem manejados podem manter-se em equilíbrio por longos períodos, sem a necessidade de fertilizações de reposição (CORSI e MARTHA JR, 1997), pois cerca de 70-90% dos nutrientes ingeridos pelos ruminantes podem retornar às pastagens via dejetos (VENDRAMINI *et al.*, 2014). Embora exista grande desuniformidade na distribuição das excretas, a quantidade de nutrientes que pode retornar ao sistema é alta. Pastos com produção de 15.000 kg ha⁻¹ de massa seca ao ano podem ter até 100 kg ha⁻¹ de nitrogênio retornado ao solo através dos dejetos animais (HAYNES e WILLIAMS, 1993). É importante ressaltar que existem outros processos de relevância para a ciclagem de nutrientes em pastagens. Após o pastejo, a forragem colhida e não consumida pelos animais, bem como a morte dos perfilhos incluindo as raízes são fonte de adição uniforme de nutrientes ao sistema. Pois quando ocorre o pastejo, o tecido meristemático da planta forrageira pode ser cortado e, com isso, causar a senescência do perfilho como um todo (HODGSON, 1990), fazendo com que folhas remanescentes, caule e raízes possam então ser incorporado à matéria orgânica do solo. A produção contínua de novos perfilhos em reposição aos que morreram no pós pastejo é uma estratégia de sobrevivência das gramíneas que permite que haja constância na geração de material biológico que poderá ser decomposto futuramente, favorecendo o incremento da matéria orgânica do solo.

Em alguns dos trabalhos publicados com pastagens tropicais e nitrogênio entre 2007 e 2017 observa-se que as áreas experimentais utilizadas foram recém-plantadas (FRANÇA *et al.*, 2007; FREITAS *et al.*, 2007; ALVES *et al.*, 2008; COSTA *et al.*, 2008b; SANTOS *et al.*, 2009; COSTA *et al.*, 2010b; LANA *et al.*, 2010; MOTA *et al.*, 2010; PEREIRA *et al.*, 2011) ou eram áreas com algum grau de degradação de pastagens (COSTA *et al.*, 2009; COSTA *et al.*, 2010a;

SILVA *et al.*, 2011; SILVA *et al.*, 2013). Relatos de experimentos em áreas com histórico de manejo intensivo de pastagens foram escassos (AGUIAR *et al.*, 2008; CAMPANA, 2008; OLIVEIRA *et al.*, 2009; BARBERO *et al.*, 2010). Contudo, é importante ressaltar, que tem sido observado efeito residual de nitrogênio em áreas agrícolas com histórico de adubações intensivas visando elevadas produtividades (WHITEHEAD, 1995). Em áreas agricultáveis com manejo de plantio direto, no qual ocorre o acúmulo crescente de palhada, também é possível observar esse fenômeno (AMADO *et al.*, 2002). Os termos “efeito residual” ou “áreas não responsivas” já têm sido citados, em áreas tropicais, para a cultura do milho (RAMBO *et al.*, 2007; RAMBO *et al.*, 2008; NOVAKOWISKI *et al.*, 2011; RAMBO *et al.*, 2011; SANDINI *et al.*, 2011).

Áreas de pastagens intensivamente manejadas tem comportamento semelhante às áreas de plantio direto devido a dinâmica que a matéria orgânica impõe ao sistema (PRIMAVESI *et al.*, 2008). De forma contrária, grande parte das pastagens existentes no Brasil são manejadas de forma extensiva (DIAS FILHO, 2011) e com baixa ou nenhuma aplicação de fertilização (DUBEUX *et al.*, 2007). As pesquisas atuais estão focadas na recuperação dos sistemas, dificultando ainda mais encontrar material publicado sobre pastagens intensificadas. Embora, existam poucos relatos na literatura, já tem sido observada, ausência de resposta à adubação nitrogenada de pastagens em áreas intensificadas (AGUIAR *et al.*, 2008; CAMPANA, 2008; OLIVEIRA *et al.*, 2009). Nessas áreas, durante longo período de tempo, devido ao histórico de intensas fertilizações nitrogenadas (muitas vezes realizadas de forma empírica pelo extencionista e/ou produtor), o nitrogênio está sendo disponibilizado para a forrageira, além da própria fertilização, via mineralização do nitrogênio orgânico do solo ou até mesmo por meio da mobilização dos órgãos de reserva, mostrando que a planta pode até mesmo não responder à fertilização nitrogenada. Os órgãos de reserva podem acumular nitrogênio disponibilizado em excesso para a planta e permitir a utilização do nutriente em situações em que ocorre a deficiência (OLIVEIRA *et al.*, 2007).

Em áreas de pastejo ocorre grande interação entre solo-planta-animal e essa dinâmica é complexa. Isso implica que a quantidade de nitrogênio fornecida à pastagem pode ser reduzida ao longo dos anos mantendo-se a mesma produção de forragem (PRIMAVESI *et al.*, 2008) desde que não existam outros fatores limitantes. Encontrar relações entre produtividade da pastagem,

fatores de solo e/ou planta para a adequada recomendação nitrogenada é uma forma sustentável de continuar intensificando e manejando corretamente pastagens.

2.2. Nitrogênio no sistema solo/planta/animal

O nitrogênio é considerado um dos nutrientes mais importantes para o desenvolvimento das culturas em geral, porém, é um dos elementos mais difíceis de manejar devido a sua dinâmica no sistema solo-planta-atmosfera (VENDRAMINI *et al.*, 2007).

A entrada de nutrientes no sistema das pastagens ocorre através da adição de fertilizantes minerais e/ou orgânicos, dejetos animais, perdas oriundas do pastejo, fixação simbiótica e não simbiótica de N_2 , mineralização da matéria orgânica e, em menor quantidade pela deposição e dissolução de gases da atmosfera. A presença e importância de cada uma dessas fontes de entrada de nitrogênio dependerão do sistema de manejo adotado na propriedade. Os nutrientes podem ser alocados, temporariamente ou não, em diferentes reservatórios presentes no sistema solo-planta-atmosfera. Em algum momento o nitrogênio pode estar presente na planta forrageira, na liteira, na fauna e flora do solo, em compostos orgânicos e/ou inorgânicos. Considera-se a serrapilheira formada nas pastagens como fundamental para inclusão de nutrientes no sistema solo-planta. Grande quantidade de matéria orgânica pode retornar ao solo em ambiente de pastejo, entretanto, poucos são os dados disponíveis sobre produção e composição química da serrapilheira de pastagens tropicais (BARCELLOS *et al.*, 2008).

Na camada agricultável do solo, a maior parte de nitrogênio está na forma orgânica, presente na biomassa e serrapilheira, principalmente como proteínas, aminoácidos e aminoaçúcares, e, apenas uma pequena fração do nitrogênio total está na forma inorgânica (TISDALE *et al.*, 1993). A ciclagem de nutrientes é mais intensa em áreas de pastagem do que em áreas de cultivos anuais devido à presença dos animais pastejadores (RUSSELLE e GOMIDE, 1997). Dessa forma, quanto maior a intensificação da área de pastagem, maiores as transformações envolvidas. Vacas leiteiras retêm apenas 15-30% dos nutrientes ingeridos (HAYNES e WILLIAMS, 1993), excretando, portanto, grande parte do consumido, favorecendo o processo de ciclagem nesses sistemas. A composição nutricional da liteira varia em função da disponibilidade de nutrientes que o solo forneceu para o crescimento e desenvolvimento da

planta. Uma serrapilheira rica em nutrientes e com diversidade de fauna tem rápida decomposição (PEREIRA *et al.*, 2013).

A presença de animais desfolhantes nas áreas de pastagens afetam o crescimento da planta, a quantidade e qualidade da liteira formada, causam compactação no solo e através dos dejetos retornam nutrientes ao sistema (RUSSELLE e GOMIDE, 1997). Animais em pastejo são um importante fator de mudanças temporais e espaciais no ambiente das pastagens. Acredita-se que 20-30% do nitrogênio presente na urina dos animais possa ser recuperado (HAYNES e WILLIAMS, 1993). Parte dos nutrientes não consumidos da pastagem retorna ao sistema através da deposição de material senescente e liteira do solo (VENDRAMINI *et al.*, 2007). A excreta animal e a liteira são de grande importância para o retorno dos nutrientes para o solo, sendo a matéria orgânica do solo considerada a maior fonte de nutrientes para as plantas (DUBEUX JR *et al.*, 2004).

Existem basicamente dois processos pelo qual o nitrogênio presente no solo irá passar: a mineralização e/ou a imobilização. O termo mineralização ou amonificação trata-se da conversão do nitrogênio da forma orgânica para a inorgânica. O primeiro produto desta transformação no solo é a formação do amônio, que posteriormente, pode ser oxidado a nitrato. Ambos podem ser absorvidos pela planta o que varia é a forma como o elemento se encontra disponível na solução do solo. Resíduos culturais com teores de nitrogênio maiores que 1,5-1,7% e relação C:N abaixo de 30 favorecem o processo de mineralização (TISDALE *et al.*, 1993). Resíduos culturais com alto níveis de nitrogênio podem mineralizar de 1,0 a 20 mg de nitrogênio por dm³ de solo por dia. Essa taxa contabiliza apenas a liberação bruta de nitrogênio inorgânico não podendo ser utilizado para avaliar a quantidade de nitrogênio disponível no solo (CAMPBELL *et al.*, 1994).

O ideal para atender a demanda da cultura e fauna presente no solo é que exista uma maior proporção de nitrogênio inorgânico no solo, pois a quantidade total líquida de N inorgânico produzida a partir de um substrato de N orgânico é resultado do balanço existente entre os processos de liberação e remoção de N do solo. Em condições naturais, entrada e saída de nitrogênio no sistema se equilibram, mantendo um fluxo constante de N no solo. Solos agrícolas explorados exaustivamente apresentam valores negativos para o balanço de nitrogênio inorgânico, sendo necessárias adubações nitrogenadas para compensação.

Pouca mobilização do solo tende a reduzir a disponibilidade de nitrogênio oriunda da mineralização, pois aumenta a imobilização do mesmo pela biomassa microbiana (VARGAS e SCHOLLES, 1998). A quantidade de nitrogênio retida pelos microrganismos varia de 2 a 6% do nitrogênio total do solo (JENKINSON, 1988). Quantitativamente a biomassa microbiana presente no solo é relativamente pequena, contudo é uma importante reserva de nutrientes, sendo considerada fundamental no processo de ciclagem e reciclagem de nutrientes no sistema solo-planta. As reservas de nitrogênio e fósforo de origem microbiana presente no solo são suficientes para afetar a disponibilidade e consumo desses elementos pela planta (BALOTA e AULER, 2011).

As proteínas liberadas pós-morte oriundas do conteúdo celular da biomassa microbiana, vegetal ou animal são a principal fonte de nitrogênio orgânico existente no solo (TISDALE *et al.*, 1993). O excesso de nitrogênio favorece o desenvolvimento da microbiota do solo e o processo de mineralização. Um exemplo prático é a palhada da cana-de-açúcar, que pode conter teores significativos de nitrogênio, contudo, a relação C/N é alta e isso dificulta o processo de decomposição e liberação de nitrogênio do material (FORTES *et al.*, 2013). Em curto prazo recomenda-se aumentar a dose do fertilizante nitrogenado aplicada, todavia, em longo prazo, a decomposição e mineralização da palhada aumentam e, conseqüentemente, o estoque de nitrogênio disponível no solo (TRIVELIN *et al.*, 2013).

Em experimento com citrus, observou-se que somente a biomassa microbiana disponibilizou 45 a 85 kg ha⁻¹ de nitrogênio para a cultura, considerando os primeiros 15 cm de solo (BALOTA e AULER, 2011). Contudo, é importante ressaltar que nem todo nutriente mineralizado pelos microrganismos é disponibilizado exclusivamente às plantas, parte dessa liberação pode ser usada, inclusive, para a próxima geração de microrganismos.

2.3. Avaliação de N no solo

É necessário considerar o suprimento de nitrogênio fornecido pelo solo de forma que não sejam realizadas adubações excessivas (OTTO *et al.*, 2013) que podem gerar impactos financeiros e ambientais negativos. Análises de solo são normalmente utilizadas para recomendação de calagem, fósforo e potássio das lavouras. Todavia, a análise clássica de solo

não tem se mostrado útil para a recomendação nitrogenada, pois não apresenta o teor de nitrogênio disponível no solo para consumo imediato da planta. Ainda não se encontraram boas correlações entre a fertilidade do solo (presente na análise) e a resposta produtiva da cultura quanto ao fertilizante N (BALSALOBRE *et al.*, 2002). Na China, considerando a disponibilidade de nitrogênio oriunda do solo para efeitos de recomendação e, reduzindo a dose aplicada de nitrogênio na lavoura, (CUI *et al.*, 2008) observaram economia de US\$ 144,00 por ha, sem perdas na produtividade da cultura do milho. Utilizando diferentes doses de nitrogênio para adubação de milho, observou-se que para atingir a produtividade alcançada pelas parcelas testemunha (sem nitrogênio), o solo precisou contribuir com aproximadamente 174 kg ha⁻¹ de nitrogênio (ARAÚJO *et al.*, 2004). Os autores acreditam que o fornecimento de nitrogênio pelo solo através do processo de mineralização associado ao uso de irrigação permitiu elevadas produções tanto nas parcelas testemunha como nos demais tratamentos estudados. Desta forma, fica evidente a contribuição do solo no fornecimento de nitrogênio para a planta. No Brasil, alguns estados da região Sul e dos Cerrados tem utilizado o teor de matéria orgânica do solo como indicador para as recomendações das doses de nitrogênio, contudo ainda são necessárias outras avaliações para determinar a disponibilidade de nitrogênio para as culturas (COELHO *et al.*, 2013).

Pesquisas de campo devem ser desenvolvidas para estimar o possível fornecimento de nitrogênio do solo através da implantação de parcelas com e sem fertilização nitrogenada (HASSINK, 1995), contudo, essa forma de avaliação exige a colheita da cultura para quantificar a disponibilidade de nitrogênio oriunda do solo e não tem aplicabilidade para recomendações futuras de nitrogênio. O índice que calcula a produção efetiva a partir do nitrogênio oriundo do solo (ZHOU *et al.*, 2016) só pode ser calculado a partir da produção obtidas da parcela testemunha, que não receberam adubação nitrogenada. Relações entre indicadores produtivos e parâmetros laboratoriais também tem sido testados como forma de prever a disponibilidade de nitrogênio para a planta (SHARIFI *et al.*, 2011).

Uma forma de quantificar esse possível fornecimento de nitrogênio pelo solo, é a mensuração do nitrogênio mineralizável do solo. Métodos para quantificação da mineralização do nitrogênio presente no solo podem ser de origem biológica ou química (OSTERHAUS *et al.*, 2008). A mensuração desse tipo de nitrogênio demanda tempo devido à necessidade de incubações (1 a 2 semanas) e pode não representar significativamente a dinâmica do nitrogênio

microbiano no solo (ZAK *et al.*, 1999). O ideal seria a quantificação desse nitrogênio de forma prática e rotineira através de análise química laboratorial. Durante anos isso não foi possível devido a falhas fundamentais nos métodos de destilação que subestimavam as frações nitrogênio aminoácido e nitrogênio aminoaçúcar que são as frações facilmente mineralizáveis (OTTO *et al.*, 2013). Tais limitações foram corrigidas (MULVANEY e KHAN, 2001), permitindo a criação de um método relativamente simples e com alta correlação entre N aminoaçúcar e a responsividade do solo quanto à produtividade para a cultura do milho (KHAN *et al.*, 2001). Tal metodologia ficou conhecida como Illinois Soil N Test (ISNT) e visa explorar o potencial de manejo do nitrogênio para culturas com base em um simples teste de solo (KLAPWYK e KETTERINGS, 2006), sem a necessidade de modificações na forma tradicional de coleta de solo para análise. O desempenho e uso do ISNT como ferramenta para predição da responsividade à adubação nitrogenada tem recebido atenção da pesquisa em diversos estudos (OSTERHAUS *et al.*, 2008).

O método ISNT consiste basicamente no uso de um extrator básico (NaOH) para remoção da fração nitrogênio aminoaçúcar e amônio do solo. Essas frações são as frações lábeis da matéria orgânica do solo e estariam diretamente relacionadas com a mineralização do solo, podendo assim, ser utilizadas como um indicativo de responsividade do solo a adubação nitrogenada (MULVANEY e KHAN, 2001).

Essa análise já tem sido utilizada para recomendação da fertilização nitrogenada para a cultura do milho no estado de Illinois nos EUA, mostrando que existe alta correlação entre o teor do nitrogênio aminoaçúcar disponibilizado pelo solo e a capacidade responsiva da cultura às doses do fertilizante nitrogenado. Em diversos estudos já foi demonstrado em solos com alto teor de nitrogênio aminoaçúcar que qualquer dose de nitrogênio aplicada à lavoura seria um desperdício visto que o próprio solo tinha capacidade de atender a demanda nutricional da cultura. Os dados existentes para comprovação desse teste são de regiões de clima temperado. Já para as condições edafoclimáticas brasileiras, só foi avaliado seu potencial de uso para a cultura da cana de açúcar (OTTO *et al.*, 2013; MARIANO, 2015; SATTOLO, 2016) e do milho (FARIA, 2013).

Existem inúmeros trabalhos na literatura mostrando respostas produtivas e qualitativas de pastagens tropicais quanto à aplicação de fertilizantes nitrogenados nos mais diversos cenários. Porém, são inexistentes e/ou escassas as pesquisas em áreas que adotem o sistema intensivo de

manejo que, conforme já descrito, apresenta dinâmica complexa entre solo-planta-animal. Essa ausência de informações prejudica a criação de estratégias de fertilização nitrogenada nessas áreas e corrobora para o uso de metodologias empíricas de recomendação que podem superestimar as doses do fertilizante nitrogenado. A utilização do método ISNT através de análise de solo pode ser uma ferramenta valiosa para estimar a dose de nitrogênio necessária para pastagens intensificadas.

Sendo assim, pesquisas que abordem essa temática são de grande valia, pois estudos desse tipo podem permitir recomendações específicas com melhores respostas técnicas, operacionais e econômicas ao uso do fertilizante nitrogenado maximizando seu uso e diminuindo possíveis efeitos ambientais e financeiros negativos.

3. HIPÓTESES

- Existem áreas de pastagens manejadas intensivamente que não respondem à adubação nitrogenada;
- Existem análises químicas de solo que podem auxiliar na identificação de áreas de pastagens não responsivas ao nitrogênio.

4. OBJETIVOS

- Verificar a curva de resposta de nitrogênio em função do tempo de intensificação de pastos;
- Mensurar a fração de nitrogênio orgânico mineralizável do solo utilizando metodologia Illinois Soil N Test (ISNT);
- Estabelecer parâmetros de nitrogênio no solo para auxiliar no manejo da adubação nitrogenada em áreas de pastejo intensificadas.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. Caracterização do local

O experimento foi conduzido no Estado de São Paulo, no ano Agrostológico 2014/2015, sendo duas áreas alocadas no Município de Araras - áreas 1 e 2 ($22^{\circ}18'38.4''\text{S}$ $47^{\circ}22'50.0''\text{W}$); duas áreas em Santa Rita do Passa Quatro - áreas 3 e 4 ($21^{\circ}44'51.4''\text{S}$ $47^{\circ}29'04.5''\text{W}$); e, uma área em Pirassununga - área 5 ($21^{\circ}57'31.5''\text{S}$ $47^{\circ}27'03.3''\text{W}$) - Figura 1. Os critérios considerados para a escolha da área experimental foram: gramíneas do mesmo gênero, características físico-químicas dos solos semelhantes e histórico de intensificação das áreas de pastagens. Foram realizados cinco experimentos de curva de resposta à adubação nitrogenada em pastagens com histórico de manejo intensivo.

Figura 1. Localização das áreas experimentais dentro dos limites territoriais do estado de São Paulo.

5.1.1. Histórico das áreas

a) Áreas 1 e 2

Localizadas no setor de Bovinos de leite (GETAP) do Centro de Ciências Agrárias da UFSCar, no município de Araras/SP. A pastagem de capim-Mombaça (*Megathyrsus maximus* cv Mombaça syn *Panicum maximum*) existe nesta área desde 1998, manejada sob pastejo rotacionado com altas cargas de animais e adubações. Em 2005, houve uma subdivisão dos pastos, sendo a “área 1” manejada mais intensivamente que a “área 2”. Em 2013, foi instalado sistema de irrigação na “área 1”, entretanto, durante o período experimental não foi utilizado.

b) Áreas 3 e 4

Localizadas em uma propriedade particular do município de Santa Rita do Passo Quatro/SP. A forrageira presente era o capim-Mombaça (*Megathyrsus maximus* cv Mombaça syn *Panicum maximum*), também manejado de forma rotacionada e intensiva. A “área 3” possuía 8 anos de manejo intenso, enquanto a “área 4” tinha um plantio mais recente, de 6 anos. Embora as pastagens tivessem idades diferentes estavam sendo manejadas de forma semelhante.

c) Área 5

Localizada na Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da USP, no município de Pirassununga/SP. A pastagem utilizada foi o capim-Tanzânia (*Megathyrsus maximus* cv Tanzânia syn *Panicum maximum*) e tinha aproximadamente 2 anos de idade. O manejo adotado antes do presente experimento era o extensivo, o que fez com que esta área não tivesse histórico de manejo intensivo de pastagens.

5.1.2. Condições edafoclimáticas locais

Visando atender os critérios de fertilização de pastagens de alta exigência estabelecidos para o estado de SP, V= 60%; K= 5% da CTC e P= 30ppm (WERNER *et al.*, 1996), foram realizadas, quando necessário, a correção e fertilização de solo no mês de setembro/14, a partir de resultados de amostras de solo colhidas em julho/14. Apenas a área 4 não foi corrigida e

fertilizada, pois quando a mesma foi incorporada ao experimento não haveria tempo hábil para a reação dos corretivos com o solo. As amostragens de solo foram realizadas utilizando perfurador de solo modelo NP500S da marca Nagano à gasolina com broca para perfuração de 40mm de diâmetro e adaptações para 1 m de profundidade. A determinação química do solo foi realizada de acordo com Raij et al (2001) no Laboratório do Solos da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA/USP/Pirassununga). A análise granulométrica foi determinada pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1997). A caracterização geral das áreas antes da implantação do experimento (dezembro/14) encontra-se na Tabela 1, 2 e 3.

Dados referentes às condições climáticas foram coletados nos locais (Figura 2 e 3).

Tabela 1. Caracterização inicial das frações de nitrogênio nos solos.

Área Profundidade (cm)	Amônio mg kg ⁻¹	Nitrato mg kg ⁻¹	N mineral mg kg ⁻¹	ISNT¹ mg kg ⁻¹	N total g kg ⁻¹
<i>Área 1</i>					
0-20	1,11	5,92	7,03	295	3,11
20-40	3,45	1,37	4,82	255	2,19
40-60	2,20	1,56	3,76	233	1,69
60-80	1,56	0,46	2,03	188	1,61
80-100	0,37	1,28	1,66	153	1,27
<i>Área 2</i>					
0-20	3,51	0,70	4,21	306	3,40
20-40	2,40	0,93	3,33	218	2,41
40-60	1,84	0,44	2,28	225	1,91
60-80	1,63	0,33	1,97	143	2,10
80-100	0,70	0,76	1,46	146	1,43
<i>Área 3</i>					
0-20	1,64	0,00	1,64	139	1,29
20-40	0,87	0,00	0,87	149	1,26
40-60	0,68	0,30	0,98	110	0,71
60-80	0,87	1,12	1,99	112	1,16
80-100	0,42	0,00	0,42	114	1,01
<i>Área 4</i>					
0-20	2,27	3,32	5,59	327	2,63
20-40	1,96	1,62	3,58	241	1,89
40-60	1,30	0,80	2,10	181	1,25
60-80	1,07	1,37	2,43	163	2,03
80-100	1,33	0,93	2,25	174	1,11
<i>Área 5</i>					
0-20	0,77	0,26	1,03	195	1,55
20-40	0,46	0,00	0,46	148	1,27
40-60	0,38	0,00	0,38	161	0,99
60-80	0,80	0,00	0,80	125	1,20
80-100	0,27	0,05	0,31	127	0,72

¹Illinois Soil Nitrogen Test;

Metodologia: N mineral – destilação e titulação (MULVANEY, 1996);

N total – colorimetria (BAETHGEN e ALLEY, 1989; BREMNER, 1996);

ISNT – titulação (MULVANEY e KHAN, 2001)

Tabela 2. Atributos químicos dos solos das áreas experimentais.

Prof. cm	pH CaCl ₂	MO g kg ⁻¹	P mg dm ⁻³	S	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC %	V	m
<i>Área 1</i>													
0-20	5,0	25	44	6	1,8	32	10	0	15	43,8	58	76	0,0
20-40	5,0	20	26	6	1,7	24	7	1,5	15	32,7	48	68	4,4
40-60	4,7	18	19	7	1,5	22	6	0,7	24	29,5	54	55	2,3
60-80	4,4	16	19	6	1,5	19	4	0	28	24,5	52	47	0,0
80-100	4,0	13	18	4	1,6	10	7	14	28	15,6	44	36	47,3
<i>Área 2</i>													
0-20	5,5	25	45	9	1,8	39	11	0,3	17	51,8	69	75	0,6
20-40	5,1	22	28	6	1,6	26	10	0,7	20	37,6	58	65	1,8
40-60	5,0	20	25	4	1,6	24	8	1,1	26	33,6	60	56	3,2
60-80	4,9	19	23	8	1,5	23	7	0,4	29	31,5	60	53	1,3
80-100	4,8	17	21	10	1,5	18	6	0,0	31	25,5	57	45	0,0
<i>Área 3</i>													
0-20	5,9	28	56	4	6,0	44	10	0	13	60,0	73	82	0
20-40	5,6	20	32	6	5,8	38	9	0	18	52,8	71	74	0
40-60	5,3	18	30	9	2,7	32	8	0	29	42,7	71	60	0
60-80	5,3	18	31	14	2,7	27	8	0	35	37,7	73	52	0
80-100	5,2	17	27	16	2,6	22	6	0	36	30,6	67	46	0
<i>Área 4</i>													
0-20	4,9	17	25	6	2,3	19	5	1,0	15	26,3	41	64	3,7
20-40	4,4	14	21	5	1,6	14	4	1,7	16	19,6	35	56	8,0
40-60	4,4	13	20	3	1,6	13	4	2,0	20	18,6	39	48	9,7
60-80	4,1	14	14	3	1,6	11	3	1,3	23	15,6	39	40	7,7
80-100	3,9	14	12	3	1,5	11	3	1,0	36	15,5	51	30	6,1
<i>Área 5</i>													
0-20	5,40	23	39	7	2,0	32	10	0	25	44,0	69	64	0
20-40	5,20	20	30	8	2,0	31	6	0	25	39,0	64	61	0
40-60	5,10	18	23	13	1,6	23	6	0	15	30,6	45	68	0
60-80	4,70	19	21	11	1,5	20	5	0	15	26,5	42	63	0
80-100	4,50	18	20	12	1,5	14	5	0	20	20,5	40	51	0

Extratores: pH – CaCl₂; P, K, Ca e Mg – resina; Al – KCl 1 M; S – fosfato de cálcio.

Tabela 3. Teor de micronutrientes e aspectos físicos/textural das áreas experimentais.

Prof. Cm	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Argila	Silte	Areia	Classe textural
			mg dm ⁻³			g kg ⁻¹			
Área 1									
0-20	0,69	3,8	23	14,6	2,1	496	253	251	Argilosa
20-40	0,77	2,0	20	8,6	1,2	522	205	273	Argilosa
40-60	0,50	2,1	16	1,4	1,1	560	201	239	Argilosa
60-80	0,55	2,6	16	1,0	1,4	764	96	140	Muito argilosa
80-100	0,25	2,2	17	2,5	0,3	778	99	123	Muito argilosa
Área 2									
0-20	0,45	2,8	23	12,8	1,5	569	184	247	Argilosa
20-40	0,55	1,8	22	11,5	0,9	631	134	235	Muito argilosa
40-60	0,48	1,7	20	6,4	0,8	591	160	249	Argilosa
60-80	0,74	1,2	16	3,7	0,6	610	162	228	Muito argilosa
80-100	0,40	4,1	37	18,2	3,8	732	104	164	Muito argilosa
Área 3									
0-20	0,31	8,1	39	33,8	8,0	367	121	512	Argilosa
20-40	0,15	6,4	20	17,7	3,4	384	131	485	Argilosa
40-60	0,12	4,4	19	28,7	2,5	415	105	480	Argilosa
60-80	0,55	4,8	19	12,6	2,5	421	91	488	Argilosa
80-100	0,13	1,1	14	2,1	1,0	433	98	469	Argilosa
Área 4									
0-20	0,65	2,2	49	34,4	1,9	141	26	833	Arenosa
20-40	0,44	3,4	16	25,7	0,4	156	38	806	Média arenosa
40-60	0,23	2,3	26	28,3	0,9	135	46	819	Arenosa
60-80	0,25	2,0	26	25,3	0,8	214	16	770	Média arenosa
80-100	0,42	1,8	24	19,0	0,8	236	13	751	Média arenosa
Área 5									
0-20	0,14	5,0	17	4,8	1,7	620	65	315	Muito argilosa
20-40	0,33	4,2	17	3,7	1,2	678	24	298	Muito argilosa
40-60	0,18	4,6	16	3,8	1,6	628	81	291	Muito argilosa
60-80	0,70	4,1	15	2,8	1,9	640	74	286	Muito argilosa
80-100	0,15	2,3	30	22,0	2,1	673	51	276	Muito argilosa

Extratores: B – água quente; Micro – DTPA.

Figura 2. Dados de temperaturas e precipitação das áreas experimentais 1,2,3 e 4. As setas na vertical indicam as datas dos cortes de uniformização e/ou coleta e adubação nitrogenada manual das parcelas.

Figura 3. Dados de temperatura e precipitação da Área 5. As setas na vertical indicam as datas dos cortes de uniformização e/ou coleta e adubação nitrogenada manual das parcelas.

5.2. Delineamento experimental

Os tratamentos de doses de N (0,50,100 e 200 kg ha⁻¹ corte⁻¹ de N) foram distribuídos em delineamento em blocos casualizados, com 5 blocos generalizados. Foi utilizado o fertilizante nitrato de amônio na tentativa de reduzir as perdas por volatilização.

Foi realizado corte de uniformização das pastagens, em dezembro/2014, considerando a altura de resíduo de 35 cm acima do nível do solo para todas as áreas. O corte da forrageira foi manual com a retirada total da bio massa da área em estudo, não sendo utilizados animais como agentes desfolhantes. Após os cortes de nivelamento, foi realizada adubação nitrogenada manualmente a lanço de acordo com os tratamentos. Esse procedimento se repetiu nos ciclos subsequentes de crescimento da forrageira, de forma que as doses de nitrogênio acumuladas no decorrer do período experimental foram: 0, 150, 300 e 600 kg ha⁻¹ de N.

As parcelas experimentais possuíram área útil de 10 m² cada (2 x 5m), com bordadura de 0,5 m entre as parcelas (Figura 4).

Figura 4. Esquema do delineamento experimental em blocos casualizados.

0 kg de N	200 kg de N	50 kg de N	100 kg de N	200 kg de N
50 kg de N	50 kg de N	0 kg de N	0 kg de N	100 kg de N
200 kg de N	0 kg de N	200 kg de N	200 kg de N	50 kg de N
100 kg de N	100 kg de N	100 kg de N	50 kg de N	0 kg de N
Bloco A	Bloco B	Bloco C	Bloco D	Bloco E

5.3. Parâmetros de solo

Para o fracionamento do nitrogênio foi realizada amostragem de solo antes das fertilizações nitrogenadas (amostragem por bloco) e após o término do experimento (amostragem por parcela), nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, por área experimental (Figura 5).

Figura 5. Amostragem de solo.

As amostras foram mantidas congeladas até o momento da extração e quantificação do nitrogênio mineral. Para quantificação do N aminoaçúcar e N

total, as amostras de solo foram secas em estufa de ventilação forçada, por 72 h, a 40 °C, para posterior determinação. As análises laboratoriais foram realizadas em triplicata para essas variáveis. Dessa forma, para as análises de pré-tratamento = 5 blocos * 5 áreas * 2 profundidades = 50 amostras * 3 (triplicata) = 150 análises. Para as análises pós-tratamento = 4 tratamentos * 5 blocos * 5 áreas * 2 profundidades = 200 amostras * 3 (triplicata) = 600 análises. Totalizando 750 análises de solo para cada parâmetro.

Com intuito de avaliar a fração hidrolisável de N orgânico do solo foi realizada a análise Illinois Soil Nitrogen Test (ISNT) (MULVANEY e KHAN, 2001) no Laboratório de Solos Multiusuários da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ/USP/Piracicaba). Esta metodologia avalia as frações amônio e aminoaçúcares do solo que podem influenciar a resposta da planta quanto à adubação nitrogenada de pastagens. O protocolo para determinação do ISNT consiste na adição de 10 mL de NaOH (2 M L⁻¹) em 1 g de solo acondicionado em câmara de difusão do tipo “Mason Jar” (Figura 6) que contém uma placa de Petri suspensa com 5mL de solução de ácido bórico a 4% para capturar o N volatilizado (Figura 7). As câmaras foram acondicionadas dentro de caixas plásticas e mantidas em placas aquecedoras, a 48-50 °C, por 5 horas, com rodízio entre as câmaras a cada 1,5 h (KLAPWYK e KETTERINGS, 2006) – Figura 8. Solução padrão de glucosamina (250 µg mL⁻¹ de N) foi utilizada para verificação e controle das condições de cada conjunto em aquecimento, considerando como adequado a recuperação mínima de 90% do N.

O fracionamento do N no solo foi realizado no Laboratório do Grupo de Estudos e Trabalhos em Agropecuária do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de São Carlos (GETAP/UFSCar/Araras). Foi realizada determinação de N total no solo (BREMNER, 1996), com quantificação colorimétrica do N-NH₄⁺ (BAETHGEN e ALLEY, 1989). Para quantificação do N mineral, as amostras de solo foram descongeladas com 12h de antecedência. Foi realizada extração com 10g de solo e 50 mL de KCl (2M), mantendo-se a relação 1:5 (solo/solução). Foi realizada agitação por 1h a 200rpm e posteriormente filtragem do extrato (MULVANEY, 1996). Foi realizada a determinação dos teores de N-NH₄⁺ e N-NO₂⁻ + N-NO₃⁻ por destilação e titulação (CANTARELLA *et al.*, 2001).

As amostras de solo pertencentes a área FZEA para quantificação de N mineral no final do experimentos foram consideradas não aptas para a análise devido a problemas no armazenamento.

Figura 6. Visão esquemática da “Mason Jar”.

Figura 7. “Mason Jars” sendo preparadas.

Fonte: própria autoria

Figura 8. Câmaras de difusão e placas aquecedoras.

Fonte: própria autoria

5.4. Parâmetros de planta

A parte produtiva da pastagem foi avaliada através de mensuração quantitativa e qualitativa da biomassa aérea disponível para consumo animal. Após o corte de uniformização no início do período experimental (dezembro/2014) foi adotado o ciclo de crescimento do capim de 28 dias para as demais coletas. Foram realizados 3 cortes para avaliação da parte aérea disponível da pastagem. As coletas foram realizadas em janeiro, fevereiro e março de 2015. A área FZEA devido ao ataque de animais silvestres teve coletas apenas em janeiro e abril de 2015. Os cortes foram feitos manualmente e todo o resíduo removido da área experimental (Figura 9).

Figura 9. Corte de uniformização e retirada dos resíduos das áreas experimentais.

Fonte: própria autoria

Em cada parcela foram coletadas aleatoriamente duas subamostras de forragem de 1m² cada (PENATI *et al.*, 2005) adotando-se altura de resíduo (35cm) estimada para a forrageira escolhida. A média dos resultados das duas subamostras gerou a amostra de cada parcela experimental. Nessa amostra foi determinada a produção de massa verde total de cada tratamento. Essas amostras foram secas em estufa a 65 °C até peso constante, moídas e encaminhadas para análise bromatológica no Laboratório do Grupo de Estudos e Trabalhos em Agropecuária do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de São Carlos (GETAP/UFSCar/Araras). Foi determinado teor total de N pelo método semimicro de Kjeldhal (AOAC, 2000), fibra em detergente neutro (FDN) e ácido (FDA) (VAN SOEST *et al.*, 1991; MERTENS, 2002). Os teores de macronutrientes foliares foram analisados no Laboratório de Solos da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA/USP/Pirassununga) (MALAVOLTA *et al.*, 1997).

Para estimar o índice relativo à clorofila (leitura SPAD) utilizou-se o equipamento portátil Soil Plant Analyses Development, modelo SPAD-502 (Minolta Corporation, Ramsey, Japan). As leituras foram feitas antes das coletas para quantificação da massa verde disponível, nas folhas totalmente expandidas. Foram realizadas 10 leituras por parcela, sendo utilizada a média por parcela experimental.

O índice de vegetação de diferença normatizada (NDVI) foi estimado através da mensuração da quantidade de clorofila e da absorção de energia. As leituras foram feitas utilizando-se sensor óptico ativo GreenSeeker® que emite luz no comprimento de onda de 660 nm (vermelho) e 780 nm (infravermelho próximo). Foram realizadas 5 leituras por parcela, sendo a média utilizada como representativa do tratamento.

5.5. Parâmetros de eficiência do fertilizante nitrogenado

A extração de N foi calculada a partir da produção de MS e teor de N. A equação utilizada para esta estimativa foi (PRIMAVESI *et al.*, 2001):

$$N \text{ ext (kg/ha)} = 0,001 \times [MS(\text{kg/ha}) \times \text{Teor de N (g/kg)}]$$

A eficiência de uso do N foi calculada pela relação (FERNANDES *et al.*, 2010):

$$EUN = MS \text{ (kg/ha)} / \text{dose N (kg/ha)}$$

As demais eficiências calculadas foram (ZHOU *et al.*, 2016):

Eficiência de recuperação:

$$ER (\%) = \{ [N \text{ ext}_{\text{tratamento}} \text{ (kg/ha)} - N \text{ ext}_{\text{controle}} \text{ (kg/ha)}] / \text{Dose de N (kg)} \} \times 100$$

Eficiência agronômica:

$$EA (\%) = \{ [MS_{\text{trat}} \text{ (kg/ha)} - MS_{\text{controle}} \text{ (kg/ha)}] / \text{Dose N (kg)} \} \times 100$$

Eficiência fisiológica:

$$EF (\%) = \{ [MS_{\text{trat}} \text{ (kg/ha)} - MS_{\text{controle}} \text{ (kg/ha)}] / [N \text{ ext}_{\text{trat}} \text{ (kg/ha)} - N \text{ ext}_{\text{controle}} \text{ (kg/ha)}] \} \times 100$$

Taxa de dependência do solo:

$$DS (\%) = [N \text{ ext}_{\text{controle}} \text{ (kg/ha)} / N \text{ ext}_{\text{tratamento}} \text{ (kg/ha)}] \times 100$$

5.6. Análises estatísticas

Para todas as análises estatísticas realizadas no presente estudo foi utilizado PROC MIXED do SAS 9.3 (Statistical Analysis Software – SAS Institute Inc., Cary, NC) e foi considerado um nível de significância de 0,05.

Para avaliação da composição do solo, antes da aplicação dos tratamentos (doses de N) foi utilizado o modelo a seguir:

$$Y_{ij} = \mu + A_i + e_{ij}$$

Com, $e_{ij} \approx N(0, \sigma_i^2)$; em que: Y_{ij} é o valor observado da variável dependente; μ é a média geral; A_i é o efeito fixo da i -ésima área ($i = 1$ à 5); e_{ij} é o

erro residual, sendo que j indica o bloco ($j = 1$ à 25); N indica distribuição normal; σ_i^2 é a variância residual associada a cada área. Quando houve efeito de área, este foi estudado pelo teste de diferença mínima significativa de Fisher (LSD);

Para a composição do solo, ao final do período experimental, foi utilizado o modelo a seguir:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + b_{j:i} + N_k + A \times N_{ik} + B_l(X_{ijk} - \bar{X}) + e_{ijk}$$

Com $b_{j:i} \approx N(0, \sigma_i^2)$ e $e_{ijk} \approx N(0, \sigma_e^2)$; em que: Y_{ijk} é o valor observado da variável dependente; μ é a média geral; A_i é o efeito fixo da i -ésima área ($i = 1$ à 5); $b_{j:i}$ é o efeito aleatório do bloco j , pertencente à área i ($j = 1$ à 25); N_k é o efeito fixo da dose k de N ($k = 1$ à 4); $A \times N_{ik}$ representa um efeito fixo de interação; B_l é o efeito de um coeficiente de regressão; X_{ijk} é a covariável medida em cada parcela; $\bar{X}$ é a média da covariável; e_{ijk} é o erro residual; N indica distribuição normal; σ_i^2 é a variância residual associada a cada área e σ_e^2 é a variância residual. A inclusão da covariável no modelo foi avaliada pela metodologia Baisiana: quando a presença da covariável reduziu o valor do critério Baisiano, ele foi mantida. Quando a inclusão da covariável aumentou o valor do critério Baisiano, esta foi retirada do modelo. Para as variáveis amônia, ISNT e N total, a covariável foi mantida, enquanto que para as variáveis, nitrato e N mineral, esta foi removida do modelo. Quando houve interação, esta foi desmembrada pelo função SLICE. Os efeito de área foram descritos usando o teste de diferença mínima significativa de Fischer (LSD), enquanto que os efeito de tratamento foram estudados por regressão polinomial. Foram avaliados os contrastes: linear [$(-7 \times \text{trat0}) + (-3 \times \text{trat50}) + (1 \times \text{Trat100}) + (9 \times \text{Trat200})$]; quadrático [$(-7 \times \text{trat0}) + (4 \times \text{trat50}) + (8 \times \text{Trat100}) + (-5 \times \text{Trat200})$]; desvio do quadrático / cúbico [$(-3 \times \text{trat0}) + (8 \times \text{trat50}) + (-6 \times \text{Trat100}) + (1 \times \text{Trat200})$]. O contraste de maior nível e significativo foi considerado para a obtenção da função de regressão, obtida utilizando a opção SOLUTION.

Para a produção de massa seca disponível e composição das plantas, foi utilizado o modelo a seguir:

$$Y_{ijkl} = \mu + A_i + b_{j:i} + N_k + A \times N_{ik} + \omega_{ijk} + T_l + e_{ijkl}$$

Com $b_{j:i} \approx N(0, \sigma_i^2)$, $\omega_{ijk} \approx N(0, \sigma_\omega^2)$ e $e_{ijkl} \approx MVN(0, R)$; em que:

Y_{ijkl} é o valor observado da variável dependente; μ é a média geral; A_i é o efeito fixo da i -ésima área ($i = 1$ à 5); $b_{j:i}$ é o efeito aleatório do bloco j , pertencente à

área i ($j = 1$ à 25); N_k é o efeito fixo da dose k de N ($k = 1$ à 4); $A \times N_{ik}$ representa um efeito fixo de interação; ω_{ijk} é o erro aleatório associado às parcelas e definido como $N_{k \times b_{j,i}}$; T_l o efeito fixo de tempo de avaliação ($l = 1$ à 3); e_{ijkl} é o erro residual; N indica distribuição normal; σ_i^2 é a variância residual associada a cada área e σ_{ω}^2 é a variância associada a cada parcela experimental; MVN indica multivariada com distribuição normal; R é a matriz de variância e covariância, graças às medidas repetidas no tempo. Foram avaliadas as seguintes matrizes: simetria composta (CS), simetria composta heterogênea (CSH); autorregressiva de primeira ordem [AR]; autorregressiva heterogênea de primeira ordem [ARH], fator analítico (FA), Toeplitz (TOEP), Toeplitz heterogênea (TOEPH) e não estruturada (UN). A escolha da melhor matriz de variância e covariância foi realizada de acordo com o critério baiano, sendo escolhidas as matrizes: ARH para a produção de massa disponível; AR para FDN, FDA, MO e NDVI; CS para N, K e SPAD; UN para P e Ca; CSH para Mg e S. Os efeitos de tratamentos foram desmembrados por regressão polinomial, conforme anteriormente descrito.

As medidas de eficiência foram estudadas utilizando um modelo estatístico similar ao anteriormente apresentado para a produção de matéria seca e composição da planta. Para o N extraído, o modelo foi idêntico ao anterior, tendo sido utilizada a matriz de variância e covariância ARH. Para as demais medidas de eficiência, o modelo foi também similar, no entanto, o tratamento controle (dose 0 de N) foi removido do modelo, por entrar no cálculo das medidas de eficiência dos demais tratamentos. As medidas de eficiência foram calculadas para cada parcela em cada período, tendo a parcela que recebeu a dose 0 de N como testemunha. Foram utilizadas as matrizes AR para eficiência de recuperação; ARh para as eficiências agronômica e fisiológica e CSH para a dependência do solo e a eficiência de uso de N.

Para as regressões dos dados de eficiência em função da composição do solo no início do estudo foi considerado o mesmo modelo apresentado para a avaliação da produção de massa seca, sendo que todas as fontes de variação foram consideradas fatores aleatórios e foram incluídos preditores lineares, obtidos da composição de cada parcela, antes da aplicação dos tratamentos. As funções foram obtidas pela função SOLUTION, sendo apresentados os valores de *intercept* e *slope*, de acordo com a equação genérica da reta: $f(x) = \text{intercept} +$

$slope \times x$. Os valores de probabilidade das funções lineares foram apresentados e discutidos.

6. RESULTADOS

6.1. *Frações do nitrogênio no solo*

Para a profundidade 0-20 cm, antes da aplicação dos tratamentos, as áreas 2 e 3 apresentaram os maiores teores de amônio ($p \leq 0,05$; Tabela 4), enquanto que as áreas 4 e 5 apresentaram as menores concentrações. Não foi observada diferença entre as áreas para o teor de nitrato ($p \geq 0,081$), em nenhuma das profundidades avaliadas. Os maiores teores de N mineral (somatória de amônio e nitrato), ISNT e N total, na profundidade de 0 à 20 cm, foram observados nas áreas 1 e 2, ($p \leq 0,05$). As concentrações das diferentes frações do N avaliadas foram menores na profundidade de 20-40 cm, em relação à profundidade 0-20 cm, sendo que as áreas 1 e 2 permaneceram apresentando os maiores teores de amônio e ISNT ($p \leq 0,05$). As áreas 2 e 4 apresentaram maiores ($p \leq 0,05$) concentrações de N total, na profundidade de 20-40 cm, em relação às demais áreas.

Não houve interação ($p \geq 0,051$; Tabela 5) entre tratamento e área para nenhuma das variáveis de solo estudadas. Após a aplicação dos tratamentos, as concentrações de ISNT (0-20 cm) e nitrato (20-40 cm) não diferiram ($p \geq 0,269$) entre as áreas avaliadas. As áreas 1 e 2, com maior tempo de intensificação, apresentaram os maiores teores de amônio, N mineral e N total, na profundidade de 0-20, além da concentração de N total e ISNT, na profundidade de 20-40 (Figura 10). Além disso, a área 2 apresentou maior ($p \leq 0,05$) concentração de nitrato (0-20 cm) que as demais áreas, que por sua vez, não diferiram entre si ($p > 0,05$). Na profundidade de 20-40 cm, a área 2 apresentou os maiores ($p \leq 0,05$) teores de amônio e N mineral, enquanto que as áreas 1, 3 e 4 apresentaram concentrações similares de N mineral. O ISNT e N total na profundidade de 20-40 cm das áreas 1 e 2 foram maiores que as outras áreas em estudo (Figura 10).

Os tratamentos (dose de N) afetaram ($p \leq 0,047$) os teores de amônio (0-20 cm), nitrato e N mineral (20-40 cm) (Tabela 5). Para os teores de amônio (0-20 cm) e nitrato (20-40 cm), houve um efeito quadrático das doses de N ($p \leq 0,038$), sendo que as menores concentrações destas frações foram alcançadas com doses de N de aproximadamente 117 e 55 kg/ha, respectivamente. As doses de N ainda aumentaram linearmente as concentrações de N mineral (20-40 cm), à uma taxa de $0,003828 \text{ g kg}^{-1}$ à cada kg ha^{-1} de N aplicado.

Tabela 4. Frações N do solo no pré-tratamento.

Item	Áreas experimentais					<i>P</i> ¹
	Área 1	Área 2	Área 3	Área 4	Área 5	
<i>Profundidade 0-20 cm</i>						
Amônio, mg kg ⁻¹	2,35 ^b	4,41 ^a	2,87 ^{a,b}	1,56 ^c	1,55 ^c	0,001
Nitrato, mg kg ⁻¹	5,43	1,32	0,50	1,58	1,51	0,081
N mineral, mg kg ⁻¹	7,78 ^a	5,73 ^a	3,36 ^b	3,15 ^b	3,06 ^b	0,035
ISNT ³ , mg kg ⁻¹	354 ^a	291 ^b	175 ^{c,d}	212 ^c	169 ^d	<0,001
N total, g kg ⁻¹	3,36 ^a	2,84 ^{a,b}	2,11 ^{c,d}	2,58 ^{b,c}	1,83 ^d	0,002
<i>Profundidade 20-40 cm</i>						
Amônio, mg kg ⁻¹	3,03 ^a	2,66 ^a	1,65 ^b	1,72 ^b	1,43 ^b	0,005
Nitrato, mg kg ⁻¹	1,21	0,85	0,29	1,26	0,79	0,176
N mineral, mg kg ⁻¹	4,24	3,51	1,94	2,98	2,22	0,054
ISNT ² , mg kg ⁻¹	226 ^a	211 ^a	119 ^b	158 ^b	145 ^b	0,002
N total, g kg ⁻¹	1,75 ^b	2,06 ^a	1,45 ^b	2,03 ^a	1,47 ^b	0,024

¹Probabilidades; ² Illinois Soil Nitrogen Test.

* Letras distintas na mesma linha diferem pelo teste Lsd 5%.

Tabela 5. Frações de N no solo no final do experimento (28 dias após a última fertilização).

Item	Dose de N ¹				Probabilidades ²					
	0	50	100	200	AREA	N	INT	Linear	Quad.	Desv.
<i>Profundidade 0-20 cm</i>										
Amônio, mg kg ⁻¹	3,62	2,80	2,78	2,89	0,042	0,047	0,107	0,088	0,038 ^A	0,374
Nitrato, mg kg ⁻¹	1,56	1,42	1,62	2,00	<0,001	0,370	0,178	0,122	0,434	0,672
N mineral, mg kg ⁻¹	5,18	4,25	4,38	4,89	0,001	0,119	0,051	0,874	0,028	0,356
ISNT, mg kg ⁻¹	240	243	239	244	0,269	0,948	0,421	0,775	0,822	0,637
N total, g kg ⁻¹	2,42	2,55	2,45	2,46	<0,001	0,791	0,874	0,993	0,641	0,368
<i>Profundidade 20-40 cm</i>										
Amônio, mg kg ⁻¹	1,92	1,94	1,80	1,87	<0,001	0,794	0,696	0,628	0,653	0,448
Nitrato, mg kg ⁻¹	0,82	0,65	0,82	1,57	0,453	0,001	0,058	<0,001	0,026 ^B	0,710
N mineral, mg kg ⁻¹	2,72	2,59	2,61	3,44	0,004	0,013	0,053	0,007 ^C	0,052	0,881
ISNT, mg kg ⁻¹	161	168	167	174	<0,001	0,331	0,480	0,085	0,841	0,551
N total, g kg ⁻¹	1,62	1,65	1,67	1,71	<0,001	0,804	0,481	0,332	0,887	0,930

*As variáveis amônio, ISNT e N total apresentaram covariável significativa.

¹Doses de nitrogênio (em kg ha⁻¹ por corte); ²Probabilidades: efeito de N: dose de nitrogênio; efeito de contrastes ortogonais para comportamento linear, quadrático e desvio do comportamento quadrático (cúbico);

^A Amônio (mg kg⁻¹) = 2,5761 (±0,708) - 0,0091 (±0,005484) × N (kg ha⁻¹) + 0,000039 (±0,000026) × N². Ponto de mínimo: N = 116,7 kg ha⁻¹.

^B Nitrato (mg kg⁻¹) = 0,3011 (±0,3562) - 0,000496 (±0,004549) × N (kg ha⁻¹) + 0,000045 (±0,000018) × N². Ponto de mínimo: N = 55,1 kg ha⁻¹.

^C N mineral (mg kg⁻¹) = 1,5121 (±0,6277) + 0,003828 (±0,002755) × N (kg ha⁻¹).

Figura 10. Concentrações de amônio, nitrato, N mineral, ISNT e N total nas áreas, submetido à doses de N. *As barras presentes na coluna representam o erro padrão da média. **Letras distintas no mesmo parâmetro diferem pelo teste Lsd 5%.

6.2. *Produção e composição química bromatológica da parte aérea das plantas*

Não houve interação entre área e tratamento (doses de N) sobre os teores de matéria orgânica, FDA e teor foliar de enxofre (S), ($p \geq 0,094$, Tabela 6). As doses de N reduziram linearmente os teores de FDA das plantas ($p = 0,015$) e afetaram de maneira quadrática os teores de MO e S. Para a produção de massa seca disponível acima do nível do resíduo (35cm), teores de FDN, N foliar e macronutrientes foliares (com exceção do S), houve interação entre o tratamento doses de N e as áreas estudadas ($p \leq 0,041$, Tabela 6).

O desdobramento da interação área e doses de N para a variável massa seca disponível (Tabela 8) demonstrou comportamento quadrático para as áreas 1, 3 e 4 ($p \leq 0,013$) e comportamento linear para 2 e 5 ($p \leq 0,002$). O ponto de produção máxima foi obtido com aproximadamente 122,1; 138,9 e 146,5 kg de N ha⁻¹ corte⁻¹ para as áreas 1, 3 e 4, respectivamente.

O aumento na dose de N aplicada reduziu de forma linear os teores de FDN para todas as áreas avaliadas ($p \leq 0,026$; Tabela 9), com exceção da área 5, em que as doses de N afetaram os teores de FDN de maneira quadrática. O teor de N da parte aérea da planta teve efeito contrário. Conforme houve o aumento da dose de N observou-se um acréscimo linear do N foliar ($p < 0,001$), com exceção da área 5, que teve comportamento quadrático para as concentrações de N foliar ($p = 0,005$).

Observou-se interação entre os efeitos das doses de N aplicadas e áreas avaliadas para os índices SPAD e NDVI ($p \leq 0,014$; Tabela 7). Esses índices tiveram comportamento semelhante na interação dose de N e áreas avaliadas (Tabela 10), apresentando efeito quadrático para as áreas 2, 3 e 4 ($p \leq 0,006$) e linear crescente para as áreas 1 e 5 ($p \leq 0,016$).

Na interação doses de N e áreas, a variável macronutrientes da parte aérea apresentou comportamento distinto para cada elemento estudado (Tabela 11). Para potássio (K), não houve diferenças entre as doses de N aplicadas para as áreas 1, 2 e 5 ($p > 0,05$) e efeito linear crescente para as áreas 3 e 4 ($p < 0,002$). Em contrapartida, para cálcio (Ca) as áreas 3 e 4 foram não significativas ($p > 0,05$) e as áreas 1, 2 e 5 apresentaram diferenças entre as doses aplicadas sem um padrão específico de comportamento ($p \leq 0,045$). Para magnésio (Mg), independentemente da dose de N aplicada os teores foram similares para as áreas 4 e 5 ($p > 0,05$) e tiveram

comportamento crescente para as áreas 1, 2 e 3 ($p < 0,005$). Para o elemento fósforo (P), de forma geral, com o aumento da dose de N aplicada implicou na redução dos teores foliares ($p < 0,016$).

Tabela 6. Efeito da adubação nitrogenada sobre a produção e a composição de forrageiras nas áreas.

	Dose de N ¹				Probabilidades ²					
	0	50	100	200	N	Área	INT	Linear	Quad.	Desv.
Produção ³ (t ha ⁻¹ corte ⁻¹)	1,12	1,64	1,86	1,91	<0,001	<0,001	0,041	<0,001	<0,001	0,330
<i>Composição química</i>										
MO, g kg ⁻¹	889	894	895	898	<0,001	<0,001	0,559	<0,001	0,015 ^A	0,102
FDN, g kg ⁻¹	721	713	704	689	<0,001	<0,001	0,015	<0,001	0,750	0,886
FDA, g kg ⁻¹	397	395	387	381	<0,001	<0,001	0,434	<0,001 ^B	0,899	0,180
N, g kg ⁻¹	25,5	28,2	32,0	35,6	<0,001	<0,001	0,007	<0,001	0,014	0,085
K, g kg ⁻¹	27,1	28,6	28,7	28,9	<0,001	0,027	0,021	0,018	0,077	0,416
Ca, g kg ⁻¹	5,62	5,53	5,96	6,03	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	0,762	0,005
Mg, g kg ⁻¹	3,39	3,48	3,77	4,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,517	0,037
P, g kg ⁻¹	2,85	2,51	2,36	2,20	<0,001	<0,001	0,002	<0,001	<0,001	0,236
S, g kg ⁻¹	2,04	2,33	2,77	2,87	<0,001	<0,001	0,094	<0,001	0,005	0,148

¹Doses de nitrogênio (kg ha⁻¹corte⁻¹); ²Probabilidades: Efeito de: área; N: dose de nitrogênio; INT: interação entre dose de nitrogênio e área; Efeito de contrastes ortogonais para comportamento linear, quadrático e desvio do comportamento quadrático (cúbico); ³Produção de massa seca disponível (t ha⁻¹), média de 3 cortes.

^A MO (g kg⁻¹) = 889,06 (±4,5255) - 0,09082 (± 0,01804) × N (kg ha⁻¹) - 0,00023 (± 0,000082) N². Ponto de máximo: N = 197,4 kg ha⁻¹.

^B FDA (g kg⁻¹) = 397,55 (±12,2898) - 0,08672 (±0,01794) × N (kg ha⁻¹).

Tabela 7. Efeito da adubação nitrogenada sobre índice SPAD e NDVI nas áreas.

	Dose de N ¹				Probabilidades ²					
	0	50	100	200	N	Área	INT	Linear	Quad.	Desv.
SPAD	35,6	39,8	42,6	44,9	<0,001	<0,001	0,014	<0,001	<0,001	0,734
NDVI	0,753	0,791	0,805	0,810	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,131

¹Doses de nitrogênio (kg ha⁻¹ corte⁻¹); ²Probabilidades: Efeito de: área; N: dose de nitrogênio; INT: interação entre dose de nitrogênio e área; Efeito de contrastes ortogonais para comportamento linear, quadrático e desvio do comportamento quadrático (cúbico).

Tabela 8. Desdobramento da interação entre os efeitos das doses de N nas diferentes áreas para a massa disponível seca (t ha⁻¹) colhida acima da altura do resíduo de 35 cm.

Área	Dose de N ¹				Probabilidades ²			
	0	50	100	200	N	Linear	Quad.	Desv.
Área 1	1,45	1,81	2,07	1,83	0,005	0,037	0,003 ^A	0,753
Área 2	0,99	1,43	1,35	1,61	0,004	0,002 ^B	0,285	0,117
Área 3	0,85	1,28	1,57	1,61	<0,001	<0,001	0,013 ^C	0,935
Área 4	1,21	2,06	2,43	2,37	<0,001	<0,001	<0,001 ^D	0,634
Área 5	1,09	1,64	1,88	2,15	<0,001	<0,001 ^E	0,068	0,637

¹Doses de nitrogênio (kg ha⁻¹ corte⁻¹); ²Probabilidades: efeito de N: dose de nitrogênio; efeito de contrastes ortogonais para comportamento linear, quadrático e desvio do comportamento quadrático (cúbico);

^A Produção (kg ha⁻¹, Área 1) = 1,4523 (±0,2616) + 0,009767 (± 0,002773) × N (kg ha⁻¹) - 0,00004 (± 0,000013) × N².
Ponto de máximo: N = 122,1 kg ha⁻¹.

^B Produção (kg ha⁻¹, Área 2) = 1,1129 (±0,2115) + 0,002558 (± 0,00065) × N (kg ha⁻¹).

^C Produção (kg ha⁻¹, Área 3) = 0,7771 (±0,1740) + 0,01111 (± 0,002078) × N (kg ha⁻¹) - 0,00004 (± 0,000009) × N².
Ponto de máximo: N = 138,9 kg ha⁻¹.

^D Produção (kg ha⁻¹, Área 4) = 1,1813 (±0,2776) + 0,02051 (± 0,003002) × N (kg ha⁻¹) - 0,00007 (± 0,000014) × N².
Ponto de máximo: N = 146,5 kg ha⁻¹.

^E Produção (kg ha⁻¹, Área 5) = 1,244 (±0,5976) + 0,004944 (± 0,000753) × N (kg ha⁻¹).

Tabela 9. Desdobramento da interação entre os efeitos das doses de N nas áreas para o teor de FDN e N na parte aérea da planta (g kg⁻¹ MS).

Área	Dose de N ¹				Probabilidades ²			
	0	50	100	200	N	Linear	Quad.	Desv.
<i>FDN</i>								
Área 1	750	743	748	730	0,088	0,026 ^A	0,430	0,326
Área 2	729	740	718	691	<0,001	<0,001 ^B	0,065	0,079
Área 3	703	695	678	666	<0,001	<0,001 ^C	0,526	0,445
Área 4	728	722	719	690	<0,001	<0,001 ^D	0,222	0,589
Área 5	697	666	658	669	0,006	0,033	0,003 ^E	0,603
<i>N</i>								
Área 1	25,4	29,2	30,9	35,0	<0,001	<0,001 ^F	0,262	0,437
Área 2	25,8	26,9	31,6	35,1	<0,001	<0,001 ^G	0,691	0,062
Área 3	24,3	28,9	33,4	38,6	<0,001	<0,001 ^H	0,056	0,660
Área 4	24,5	24,7	28,5	33,2	<0,001	<0,001 ^I	0,254	0,103
Área 5	27,5	31,5	35,5	36,1	<0,001	<0,001	0,005 ^J	0,478

¹Doses de nitrogênio (kg ha⁻¹ corte⁻¹); ²Probabilidades: efeito de N: dose de nitrogênio; efeito de contrastes ortogonais para comportamento linear, quadrático e desvio do comportamento quadrático (cúbico);

^A FDN (g kg⁻¹, Área 1) = 750,83 (±10,0111) - 0,09076 (± 0,03883) × N (kg ha⁻¹).

^B FDN (g kg⁻¹, Área 2) = 738,65 (±15,2435) - 0,2168 (± 0,03479) × N (kg ha⁻¹).

^C FDN (g kg⁻¹, Área 3) = 702,16 (±18,1098) - 0,1830 (± 0,04542) × N (kg ha⁻¹).

^D FDN (g kg⁻¹, Área 4) = 730,97 (±6,9409) - 0,1903 (± 0,04468) × N (kg ha⁻¹).

^E FDN (g kg⁻¹, Área 5) = 696,09 (±8,7274) - 0,6804 (± 0,1641) × N (kg ha⁻¹) - 0,07959 (± 0,000747) × N². Ponto de mínimo: N = 123,4 kg ha⁻¹.

^F N na planta (g kg⁻¹, Área 1) = 26,1052 (±1,7357) + 0,04612 (± 0,05539) × N (kg ha⁻¹).

^G N na planta (g kg⁻¹, Área 2) = 25,5414 (±1,0215) + 0,04936 (± 0,05749) × N (kg ha⁻¹).

^H N na planta (g kg⁻¹, Área 3) = 25,0925 (±1,0235) + 0,07082 (± 0,006212) × N (kg ha⁻¹).

^I N na planta (g kg⁻¹, Área 4) = 23,6678 (±1,6621) + 0,04590 (± 0,06120) × N (kg ha⁻¹).

^J N na planta (g kg⁻¹, Área 5) = 27,3314 (±1,0210) + 0,1123 (± 0,02335) × N (kg ha⁻¹) - 0,00034 (± 0,000108) × N². Ponto de máximo: N = 165,1 kg ha⁻¹.

Tabela 10. Desdobramento da interação entre os efeitos das doses de N nas áreas para os índices SPAD e NDVI.

Área	Dose de N ¹				Probabilidades ²			
	0	50	100	200	N	Linear	Quad.	Desv.
<i>SPAD</i>								
Área 1	38,3	40,6	43,2	46,3	<0,001	<0,001 ^A	0,525	0,758
Área 2	36,2	40,1	43,0	43,5	<0,001	<0,001	0,006 ^B	0,822
Área 3	31,2	38,2	41,9	43,1	<0,001	<0,001	<0,001 ^C	0,715
Área 4	35,5	41,9	44,9	47,4	<0,001	<0,001	0,001 ^D	0,504
Área 5	36,8	38,4	39,7	44,0	<0,001	<0,001 ^E	0,613	0,797
<i>NDVI</i>								
Área 1	0,792	0,809	0,818	0,816	0,029	0,016 ^F	0,065	0,977
Área 2	0,756	0,794	0,811	0,821	<0,001	<0,001	0,002 ^G	0,581
Área 3	0,705	0,778	0,790	0,793	<0,001	<0,001	<0,001	0,022
Área 4	0,744	0,791	0,805	0,814	<0,001	<0,001	<0,001 ^H	0,273
Área 5	0,770	0,784	0,801	0,805	0,001	0,002 ^I	0,099	0,541

¹Doses de nitrogênio (kg ha⁻¹ corte⁻¹); ²Probabilidades: efeito de N: dose de nitrogênio; efeito de contrastes ortogonais para comportamento linear, quadrático e desvio do comportamento quadrático (cúbico);

^A SPAD (Área 1) = 30,6110 (± 1,6055) + 0,03982 (± 0,006719) × N (kg ha⁻¹)

^B SPAD (Área 2) = 30,1093 (± 1,9888) + 0,09832 (± 0,01986) × N (kg ha⁻¹) - 0,00031 (± 0,000092) × N². Ponto de máximo: N = 158,6 kg ha⁻¹.

^C SPAD (Área 3) = 31,2684 (± 3,0687) + 0,1581 (± 0,02576) × N (kg ha⁻¹) - 0,00049 (± 0,000119) × N². Ponto de máximo: N = 161,3 kg ha⁻¹.

^D SPAD (Área 4) = 35,6926 (± 0,9624) + 0,1342 (± 0,01400) × N (kg ha⁻¹) - 0,00038 (± 0,000065) × N². Ponto de máximo: N = 176,6 kg ha⁻¹.

^E SPAD (Área 5) = 36,5984 (± 2,1356) + 0,01310 (± 0,006675) × N (kg ha⁻¹)

^F NDVI (Área 1) = 0,7990 (± 0,01055) + 0,00011 (± 0,000029) × N (kg ha⁻¹)

^G NDVI (Área 2) = 0,7573 (± 0,009594) + 0,000799 (± 0,000109) N (kg ha⁻¹) - 0,00000241 (± < 0,00001) N². Ponto de máximo: N = 165,7 kg ha⁻¹.

^H NDVI (Área 4) = 0,7465 (± 0,005822) + 0,000917 (± 0,000118) N (kg ha⁻¹) - 0,00000291 (± < 0,00001) N². Ponto de máximo: N = 157,6 kg ha⁻¹.

^I NDVI (Área 5) = 0,7746 (± 0,01573) + 0,000174 (± 0,00004) × N (kg ha⁻¹)

Tabela 11. Desdobramento da interação entre os efeitos das doses de N nas áreas para as macronutrientes foliares K, Ca, Mg e P (g kg⁻¹).

Área	Dose de N ¹				Probabilidades ²			
	0	50	100	200	N	Linear	Quad.	Desv.
<i>K</i>								
Área 1	27,4	27,9	28,2	26,5	0,626	0,418	0,304	0,889
Área 2	20,2	20,1	18,0	18,6	0,315	0,167	0,460	0,296
Área 3	26,8	30,1	30,6	32,3	0,002	<0,001	0,192	0,360
Área 4	32,6	35,2	35,9	37,1	0,011	0,002	0,314	0,546
Área 5	28,5	29,5	31,0	29,6	0,488	0,505	0,188	0,622
<i>Ca</i>								
Área 1	5,26	5,64	5,82	6,29	0,001	<0,001	0,677	0,692
Área 2	6,01	5,62	6,94	6,66	<0,001	<0,001	0,209	<0,001
Área 3	5,63	5,81	5,72	5,54	0,675	0,495	0,359	0,647
Área 4	5,94	6,00	6,26	6,26	0,378	0,130	0,544	0,520
Área 5	5,27	4,58	5,05	5,41	0,018	0,142	0,025	0,045
<i>Mg</i>								
Área 1	3,53	3,96	4,22	4,79	<0,001	<0,001	0,361	0,533
Área 2	3,96	4,11	4,78	5,09	<0,001	<0,001	0,161	0,005
Área 3	2,98	2,98	3,24	3,28	0,019	0,005	0,578	0,185
Área 4	2,99	2,98	3,13	3,14	0,376	0,132	0,774	0,391
Área 5	3,47	3,38	3,47	3,75	0,073	0,025	0,170	0,677
<i>P</i>								
Área 1	3,11	2,94	2,58	2,37	<0,001	<0,001	0,237	0,183
Área 2	3,05	2,83	2,93	2,63	0,004	0,001	0,756	0,089
Área 3	2,20	1,86	1,83	1,82	0,002	0,004	0,016	0,304
Área 4	3,07	2,55	2,26	2,12	<0,001	<0,001	<0,001	0,741
Área 5	2,80	2,32	2,18	2,08	<0,001	<0,001	0,008	0,394

¹Doses de nitrogênio (kg ha⁻¹ corte⁻¹); ²Probabilidades: efeito de N: dose de nitrogênio; efeito de contrastes ortogonais para comportamento linear, quadrático e desvio do comportamento quadrático (cúbico).

6.3. *Eficiência de uso do nitrogênio*

De forma similar ao teor de N na planta e produção de massa seca disponível para consumo animal, a quantidade de N extraído $\text{kg ha}^{-1} \text{ corte}^{-1}$ aumentou juntamente com as doses de N aplicadas ($p > 0,001$, Tabela 12). Contudo, a quantidade de quilos de massa seca produzida por quilo de N aplicado teve comportamento contrário, reduzindo a cada aumento de dose de N utilizada. Houve redução da eficiência agronômica e fisiológica, existindo interação significativa entre doses de N e áreas para essas variáveis ($p \leq 0,036$). Os parâmetros eficiência de recuperação e taxa de dependência do solo tiveram redução nas suas eficiências com o aumento da dose de N utilizado ($p < 0,003$). O mesmo aconteceu para a variável eficiência de uso de N ($\text{kg MS kg}^{-1} \text{ N aplicado}$) com o aumento da dose de N houve redução na quantidade de massa seca produzida ($p < 0,001$; Tabela 13) independente da área avaliada. As maiores relações $\text{kg MS kg}^{-1} \text{ N aplicado}$ foram na dose de 50 kg ha^{-1} de N corte^{-1} , sendo os maiores valores verificados na área 4, seguido da área 1, com $41,7 \pm 1,74$ e $35,1 \pm 1,74 \text{ kg de MS kg}^{-1} \text{ de N aplicado}$, respectivamente ($p < 0,001$; Tabela 13). Na dose de 200 kg ha^{-1} de N corte^{-1} encontraram-se as menores relações, sendo nas áreas 2 e 3 encontradas as relações de 9,51 e 9,42 $\text{kg MS kg}^{-1} \text{ N aplicado}$, respectivamente.

O parâmetro eficiência agronômica somente diferiu entre as doses de 50 e 200 $\text{kg de N ha}^{-1} \text{ corte}^{-1}$ ($p < 0,003$; Tabela 13) nas áreas 1 e 4. Para as demais áreas, não diferiu entre doses ($p > 0,05$). No quesito eficiência fisiológica não houve diferenças entre doses para as áreas 1, 3 e 5 ($p > 0,05$) e nas áreas 2 e 4 o comportamento foi similar, sendo a melhor eficiência na dose de 50 $\text{kg N ha}^{-1} \text{ corte}^{-1}$ ($p \leq 0,001$; Tabela 13).

Na Figura 11 observa-se que a eficiência de recuperação de fertilizante nitrogenado foi maior para as áreas 3, 4 e 5 ($p = 0,002$) e menor para a área 2. Para a variável taxa de dependência do solo, as áreas 1 e 2 apresentaram os maiores índices ($p = 0,003$).

Tabela 12. Medidas de eficiência de uso de N.

Item	Dose de N ¹				Probabilidades ²		
	0	50	100	200	N	Área	INT
N extraído, kg ha ⁻¹ corte ⁻¹	29,2	46,7	58,5	68,5	<0,001	<0,001	0,166
Eficiência de uso de N, kg kg ⁻¹	---	32,2	19,2	11,4	<0,001	<0,001	0,036
Eficiência de recuperação, %	---	37,1	31,3	20,7	<0,001	0,002	0,846
Eficiência agrônômica, %	---	13,4	9,99	5,88	<0,001	<0,001	0,003
Eficiência fisiológica, %	---	29,0	26,0	22,4	0,180	0,003	0,021
Taxa de dependência do solo, %	---	61,5	48,5	42,5	0,003	<0,001	0,937

¹Doses de nitrogênio (kg ha⁻¹ corte⁻¹); ²Probabilidades: efeito de N: dose de nitrogênio; área e interação.

Figura 11. Medidas de eficiência de uso em função das áreas. * Letras distintas no mesmo parâmetro diferem pelo teste Lsd 5%.

Tabela 13. Desdobramento das interações entre tratamento e área para as medidas de eficiência.

Área	Dose de N ¹			P ²
	50	100	200	N
Eficiência de uso de N				
Área 1	35,1 ^a	21,0 ^b	11,0 ^c	<0,001
Área 2	27,9 ^a	14,1 ^b	9,51 ^c	<0,001
Área 3	24,5 ^a	16,4 ^a	9,42 ^b	<0,001
Área 4	41,7 ^a	24,5 ^b	14,3 ^c	<0,001
Área 5	31,4 ^a	19,8 ^b	12,9 ^c	<0,001
Eficiência agronômica				
Área 1	15,7 ^a	12,7 ^{a,b}	6,07 ^b	0,003
Área 2	3,91	0,82	2,19	0,531
Área 3	4,38	6,77	4,16	0,566
Área 4	26,6 ^a	17,0 ^{a,b}	8,63 ^b	<0,001
Área 5	16,5	12,7	8,37	0,082
Eficiência fisiológica				
Área 1	23,3	27,8	20,8	0,155
Área 2	33,7 ^a	25,3 ^{a,b}	20,2 ^b	0,001
Área 3	22,2	22,8	20,6	0,789
Área 4	41,0 ^a	30,6 ^{a,b}	25,9 ^b	<0,001
Área 5	24,6	23,2	24,6	0,968

¹Doses de nitrogênio (kg ha⁻¹ corte⁻¹); ²Probabilidades: efeito da dose de N.

* Letras distintas na mesma linha diferem pelo teste Lsd 5%.

6.4. Relação entre atributos químicos do solo e eficiência de uso do nitrogênio

Os únicos parâmetros de eficiência medidos ao final do experimento e que possuem correlação com as variáveis (ISNT, N mineral e N total) mensuradas no pré tratamento como forma de predição para adubações nitrogenadas foram eficiência de recuperação ($p \leq 0,043$) e taxa de dependência do solo ($p < 0,001$) - Tabela 14.

Para cada 1 mg kg^{-1} de ISNT no solo, há uma redução de 0,0579 e 0,08876% na eficiência de recuperação ($p < 0,001$), quando as avaliação do ISNT são realizados nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, respectivamente. Já o parâmetro N mineral de 0-20 cm para a mesma variável, reduz 1,158% da eficiência para cada 1 g de N kg^{-1} de solo que se aumenta.

O parâmetro taxa de dependência do solo também apresentou correlações significativas ($p < 0,001$; Tabela 14). Para cada 1 mg kg^{-1} de solo de ISNT a mais no solo, existe um aumento de 0,118% e 0,207% na taxa de dependência do solo para a camada de 0-20 cm e 20-40 cm de solo ($p < 0,001$), respectivamente. Para cada 1 mg kg^{-1} de solo de aumento no teor de N mineral (0-20 cm) observou-se um aumento de 2,95% na taxa de dependência do solo ($p < 0,001$). Os teores de N total do solo também apresentaram respostas dependentes, a cada 1 g kg^{-1} a mais de N total no solo, aumentou-se, respectivamente, para as camadas de 0-20 e 20-40 cm, em 0,0133 e 0,0147% a dependência da planta em relação ao N presente no solo.

Tabela 14. Relação entre atributos do solo e uso do N.

Estimativa	Linear		
Estimador	Intercept	Slope	P
<i>N extraído (kg ha⁻¹ por corte)</i>			
ISNT 20 ^A	48,4 ± 10,53	0,00455 ± 0,0130	0,726
ISNT40 ^B	45,4 ± 10,66	0,02372 ± 0,0206	0,251
NM20 ^C	48,8 ± 10,18	0,166 ± 0,3535	0,639
NM40 ^D	51,9 ± 10,28	-0,782 ± 0,7288	0,284
NTOT20 ^E	45,1 ± 10,86	0,00170 ± 0,00160	0,287
NTOT40 ^F	53,0 ± 11,13	-0,00139 ± 0,00271	0,608
<i>Eficiência de utilização</i>			
ISNT 20 ^A	19,5 ± 7,46	0,0040 ± 0,00698	0,567
ISNT40 ^B	18,6 ± 7,51	0,0108 ± 0,01111	0,333
NM20 ^C	20,6 ± 7,32	-0,0170 ± 0,1902	0,929
NM40 ^D	21,0 ± 7,36	-0,153 ± 0,3926	0,688
NTOT20 ^E	17,8 ± 7,59	0,00105 ± 0,00086	0,224
NTOT40 ^F	16,7 ± 7,70	0,00218 ± 0,00148	0,136
<i>Eficiência de recuperação</i>			
ISNT 20 ^A	43,1 ± 7,66	-0,0579 ± 0,0158	<0,001
ISNT40 ^B	44,3 ± 7,84	-0,08876 ± 0,0251	<0,001
NM20 ^C	34,4 ± 6,79	-1,158 ± 0,4390	0,009
NM40 ^D	32,2 ± 6,95	-1,106 ± 0,9063	0,224
NTOT20 ^E	44,9 ± 8,38	0,00316 ± 0,001970	0,971
NTOT40 ^F	41,0 ± 8,80	-0,00683 ± 0,00335	0,043
<i>Eficiência agrônômica</i>			
ISNT 20 ^A	11,7 ± 4,63	-0,0090 ± 0,0107	0,401
ISNT40 ^B	9,44 ± 4,80	-0,00004 ± 0,0171	0,998
NM20 ^C	11,1 ± 4,05	-0,348 ± 0,2911	0,233
NM40 ^D	10,6 ± 4,20	-0,375 ± 0,6026	0,534
NTOT20 ^E	9,56 ± 5,11	-0,00005 ± 0,00132	0,971
NTOT40 ^F	9,32 ± 5,487	0,00007 ± 0,0024	0,976
<i>Eficiência fisiológica</i>			
ISNT 20 ^A	25,6 ± 5,72	0,00168 ± 0,0194	0,931
ISNT40 ^B	30,3 ± 6,24	-0,0245 ± 0,0309	0,429
NM20 ^C	26,9 ± 4,08	-0,186 ± 0,5348	0,728
NM40 ^D	25,9 ± 4,57	0,0487 ± 1,0826	0,964
NTOT20 ^E	20,3 ± 6,95	0,00224 ± 0,00238	0,347
NTOT40 ^F	21,8 ± 7,79	0,00241 ± 0,00401	0,548
<i>Taxa de dependência do solo</i>			
ISNT 20 ^A	22,3 ± 10,10	0,118 ± 0,0184	<0,001
ISNT40 ^B	15,4 ± 10,25	0,207 ± 0,0287	<0,001
NM20 ^C	37,4 ± 9,17	2,95 ± 0,5101	<0,001
NM40 ^D	47,8 ± 9,27	1,25 ± 1,136	0,272
NTOT20 ^E	16,8 ± 10,87	0,0133 ± 0,00231	<0,001
NTOT40 ^F	25,3 ± 11,44	0,0147 ± 0,00411	<0,001

^AISNT20: Illinois Soil Nitrogen Test (0-20cm); ^BISNT40: Illinois Soil Nitrogen Test (20-40cm); ^CNM20: Nitrogênio mineral (0-20cm);

^DNM40: Nitrogênio mineral (0-20cm); ^ENTOT20: Nitrogênio total (0-20cm); ^FNTOT40: Nitrogênio total (20-40cm). ¹Probabilidade

7. DISCUSSÃO

7.1. *Frações do nitrogênio no solo*

Os teores de N mineral e total presentes no solo no pré e pós experimento, ao contrário da expectativa, tiveram pequenas variações. Esperava-se que com a adição constante e as elevadas doses utilizadas do fertilizante nitrato de amônio, a cada corte da forragem, os teores de nitrogênio mineral no solo aumentasse, pois o fertilizante utilizado no experimento possui baixas perdas por volatilização, mas pode lixiviar no perfil do solo. Porém, acredita-se que as perdas por lixiviação para gramíneas sejam insignificantes (GHIBERTO *et al.*, 2009), devido ao sistema radicular fasciculado e profundo (se bem manejada), o que favorece a recuperação do fertilizante em profundidade. O nitrogênio é muito dinâmico e dependente da umidade para a movimentação do nutriente no perfil do solo e absorção pela planta (TISDALE *et al.*, 1993). Assim, as frações mensuráveis do elemento no solo, podem ser influenciadas pelas condições ambientais durante a coleta. A disponibilidade do nitrogênio no solo pode variar no espaço e no tempo em função de precipitações, temperaturas, tipo de solo e pH (MASCLAUX-DAUBRESSE *et al.*, 2010) e necessitam de experimentos de longa duração para detectar a variação no acúmulo de nitrogênio (WEBER e MIELNICZUK, 2009). Os maiores teores das frações nitrogenadas apresentados na camada 0-20 cm eram esperados, pois existe uma grande influência dos resíduos culturais e condições edafoclimáticas favorecendo os processos de transformação do nitrogênio mais superficialmente (CARDOSO *et al.*, 2011).

Os teores de ISNT, que contabiliza a fração nitrogênio aminoaçúcar do conteúdo orgânico do solo, representando a fração nitrogenada oriunda da decomposição de células de bactérias (FARIA, 2013), fungos do solo (KWON *et al.*, 2009) e o *turnover* dos mesmos, tiveram valores semelhantes ao final do experimento independente da dose de nitrogênio aplicada, demonstrando que o tempo necessário para crescimento, desenvolvimento e liberação dessa fração nitrogenada exige estudos de longa duração. Sendo considerado, como indicativo de tempo mínimo de experimentação para sistemas de plantio direto o período experimental de 10 anos (SOUZA *et al.*, 2013). Os teores finais de ISNT aumentaram nas áreas 3 e 5, onde os valores para esse indicador eram mais baixos, demonstrando que a microbiota do solo utilizou o nitrogênio oriundo da fertilização para favorecer o processo de mineralização. Esse processo também é conhecido

por efeito “*priming*”, onde a adição de fertilizante permite que os microrganismos acelerem o processo de mineralização da matéria orgânica do solo (FARIA, 2013). A manutenção de resíduos das pastagens na superfície do solo dificulta a ação de microrganismos devido ao reduzido contato da palhada com o solo implicando em retardo no processo de decomposição. Em contrapartida, o aporte constante de resíduos permite um efeito positivo e contínuo na fertilidade do solo ao longo do tempo (PAVINATO e ROSOLEM, 2008). Sendo assim, pastagens manejadas intensivamente tem comportamento similar a áreas de plantio direto (PRIMAVESI *et al.*, 2008). Solos com alto teor de matéria orgânica geralmente possuem maiores índices de ISNT (PEREIRA, 2015) e tendem a ter menores respostas produtivas ao fertilizante nitrogenado quando comparados com áreas com menores quantidades de matéria orgânica no solo (RUFFO *et al.*, 2005).

Os valores de referência para ISNT são $>235 \text{ mg kg}^{-1}$ para solo não responsivos à adubação nitrogenada, em lavouras de milho, em países temperados (RUFFO *et al.*, 2005). Nas condições tropicais do Brasil, esse indicador para a cultura do milho é de 171 mg kg^{-1} (FARIA, 2013), demonstrando a necessidade de experimentos para adaptar os indicadores e/ou metodologias para as condições tropicais. O índice de ISNT $>175 \text{ mg kg}^{-1}$ tem sido preconizado para áreas de cana de açúcar possivelmente não responsivas para as condições brasileiras (OTTO *et al.*, 2013). Contudo, já foram relatadas áreas responsivas para a lavoura de cana de açúcar mesmo com índices de ISNT maiores que 228 mg kg^{-1} no solo (PEREIRA, 2015). Quanto maior o teor de N aminoaçúcar no solo menor seria a resposta da planta à adubação nitrogenada, porém alguns autores também não encontraram boa correlação entre o ISNT e a resposta da planta (LABOSKI *et al.*, 2008). Neste experimento, os valores reportados de ISNT para as pastagens de *Panicum* em manejo intensivo da forrageira foram superiores a 169 mg kg^{-1} , sendo que as áreas com maior tempo de intensificação (1 e 2) apresentaram índices de 291 e 354 mg kg^{-1} no pré tratamento. Esses valores estão bem acima dos reportados na literatura, mesmo para as condições tropicais, demonstrando que áreas de pastagem sob manejo intensivo possuem uma condição específica entre suas relações solo-planta-atmosfera. Mesmo com os altos índices encontrados para ISNT neste experimento, as plantas foram responsivas a adubação nitrogenada e não houve acúmulo de nitrogênio mineral/total ao final do experimento, demonstrando a grande capacidade de extração das pastagens tropicais. Embora as áreas 1 e 2 tivessem maior tempo de

intensificação e maiores teores de ISNT, apenas a área 1 apresentou redução da produção de massa seca disponível nas maiores doses de nitrogênio aplicada. A área 4 apresentou teor elevado de ISNT quando comparado com outros estudos no Brasil e também teve redução na produtividade da forrageira nas maiores doses aplicadas do fertilizante nitrogenado.

7.2. *Produção e composição química bromatológica da parte aérea das plantas*

O aumento da dose de nitrogênio aplicada permitiu produções crescentes de massa seca pela pastagem ($\text{t ha}^{-1} \text{ corte}^{-1}$). A produção total dos três cortes realizados foi: 3,36; 4,92; 5,58; 5,73 t ha^{-1} nas doses acumuladas de N de 0, 150, 300, 600 kg de N ha^{-1} respectivamente. Se for feita uma extrapolação das médias para seis cortes (simulando a possível produção para o ano agrostológico 2014/2015 – 180 dias), tem-se os valores de 6,72; 9,84; 11,16 e 11,46 t ha^{-1} para as doses avaliadas da menor para a maior respectivamente. Os valores encontrados para essa variável estão abaixo dos reportados na literatura (EUCLIDES e MEDEIROS, 2003; LUGÃO *et al.*, 2008; CASTAGNARA *et al.*, 2011). Porém, as alturas de corte, considerando o resíduo, nessas situações foram abaixo de 20 cm. Tal fato confere uma produtividade maior por área devido a coleta de maior quantidade de material e também a maior proporção de colmo coletado com maior teor de MS, implicando em maior produtividade por área. Sendo assim, acredita-se que as pastagens de *Megathyrsus maximus* syn *Panicum maximum* produziram bem, considerando que só foi coletada a massa seca disponível para consumo animal acima dos 35 cm de resíduo. Os dados estão de acordo com outros autores que também coletaram apenas a parte aérea disponível para consumo animal considerando um resíduo de pastejo semelhante (CAMPANA, 2008; VIANA *et al.*, 2014).

A redução da produtividade para as áreas 1, 3 e 4 na maior dose de nitrogênio aplicada pode estar relacionada com um efeito tóxico oriundo do excesso de nitrogênio disponibilizado para a planta. Quando a quantidade de nitrogênio aplicada ultrapassa a capacidade de absorção de planta, o nitrogênio oriundo da fertilização pode ser perdido por lixiviação ou acumular-se no tecido vegetal. O nitrogênio em excesso nas pastagens é acumulado na forma de nitrato, e, valores superiores a 23 g de N kg^{-1} de MS na parte aérea inibem o desenvolvimento do pasto e com isso o potencial de acúmulo de forragem é reduzido (PRIMAVESI *et al.*, 2001).

A redução dos teores de FDN e FDA devido ao aumento da dose de nitrogênio aplicada à pastagem vistas nesse experimento também é reportada por outros autores (MARANHÃO *et al.*, 2009; COSTA *et al.*, 2010a). Os valores encontrados estão de acordo com a literatura (EUCLIDES e MEDEIROS, 2003; FRANÇA *et al.*, 2007; SÁ *et al.*, 2010). A utilização de adubações nitrogenadas de forrageiras tem sido uma estratégia utilizada para melhorar valor nutritivo e digestibilidade do pasto favorecendo o desempenho animal. As doses crescentes de nitrogênio empregadas nesse experimento reduziram os teores de fibra e aumentaram os teores de proteína bruta.

Os valores totais de nitrogênio para massa seca coletada acima do resíduo (35cm) estão maiores dos que os reportados na literatura, inclusive para o tratamento controle (sem adição de nitrogênio). O boletim de recomendação de calagem e adubação para o estado de São Paulo (WERNER *et al.*, 1996), reporta a faixa de 15-25 g de N kg⁻¹ de MS como a ideal para gramíneas do gênero *Panicum*. Os teores de proteína bruta foram 15,94; 17,63; 20,00 e 22,25% para as doses 0, 50, 100, 200 kg ha⁻¹ de N corte⁻¹ respectivamente, valores muito acima dos reportados na literatura (FRANÇA *et al.*, 2007; LUGÃO *et al.*, 2008; SÁ *et al.*, 2010) mesmo quando analisadas somente as lâminas foliares (EUCLIDES e MEDEIROS, 2003). Embora não tenha sido mensurado, provavelmente esse excedente de nitrogênio foi acumulado na forma de nitrogênio não proteico e não necessariamente como proteína verdadeira. Valores similares de nitrogênio foliar foram reportados utilizando doses de nitrogênio superiores a 800 kg de N ha⁻¹ por ano (OLIVEIRA *et al.*, 2009; VIANA *et al.*, 2014). Observou-se através dos teores de proteína bruta associados com as produtividades das pastagens, que o suprimento de N presente no solo atendeu a demanda da forrageira (SHARIFI *et al.*, 2011), mesmo o gênero *Panicum* sendo classificado como uma gramínea de alta exigência (WERNER *et al.*, 1996).

Fato que corrobora com a hipótese de acúmulo de nitrato na parte aérea da planta é a elevação dos teores foliares de Ca, Mg e K com o aumento da dose de nitrogênio aplicada. Quando existe a absorção de altos níveis de nitrato, a raiz da planta pode liberar exudados no solo com o intuito de manter a eletroneutralidade da planta e da solução do solo o que favorece a absorção desses macronutrientes (TISDALE *et al.*, 1993). Embora tenha ocorrido aumento dos teores de macronutrientes com o aumento das doses de nitrogênio, os valores registrados nesse experimento estão dentro da faixa considerada como adequada para gramíneas do gênero

Panicum (WERNER *et al.*, 1996). O aumento dos teores de macronutrientes de acordo com as doses de nitrogênio aplicadas apenas demonstra a necessidade de reposição de nutrientes extraídos do solo devido ao aumento da produção de massa seca (COSTA *et al.*, 2010b). Pastagens intensificadas exigem um acompanhamento mais rigoroso dos teores presentes no solo e um adequado manejo das pastagens, pois a responsividade da mesma é grande e se não utilizada e fertilizada de forma correta pode comprometer o desempenho animal e conduzir à degradação das pastagens. As interações entre doses de nitrogênio e as áreas avaliadas nesse experimento, ocorreram pontualmente, sem um predomínio de comportamento de elemento ou área. Potássio (Áreas 3 e 4), cálcio (Áreas 1, 2 e 5) e magnésio (Áreas 1,2 e 3) tiveram aumento nos teores foliares de acordo com as doses crescentes de nitrogênio, enquanto P (para todas as áreas) apresentou comportamento inverso, conforme a dose nitrogenada aumentou, os teores foliares tiveram redução. Acredita-se que os teores de P tenham diminuído por um efeito de diluição do nutriente conforme houve aumento da produtividade da planta.

O índice SPAD ou índice de clorofila utiliza equipamentos que medem a refletância da folha. Existe uma relação entre a concentração de nitrogênio total e clorofila presente na folha (MARANHÃO *et al.*, 2009), por isso tem sido utilizado como uma ferramenta prática, rápida, não destrutiva e de relativo baixo custo para avaliação do estado nutricional de nitrogênio em plantas. Neste experimento, a resposta comportamental para o acréscimo nas doses nitrogenadas foi similar para os índices SPAD e NDVI, que responderam de forma crescente conforme houve aumento da dose de nitrogênio aplicada seguindo padrão similar à produção de massa seca disponível e teor de nitrogênio foliar. A relação entre o teor de clorofila medido com equipamentos portáteis e a concentração de nitrogênio e rendimento produtivo da lavoura tem sido demonstrada em diversas pesquisas (MOREIRA e VIDIGAL, 2011; PARIZ *et al.*, 2011; VIANA *et al.*, 2014). Em experimento com capim-Tanzânia e doses crescentes de fertilizante nitrogenado, os autores obtiveram índices de produção de MS, teor foliar de nitrogênio e índice SPAD (VIANA *et al.*, 2014) similares aos encontrados nesse experimento. Esses dados corroboram com outros experimentos que observaram uma maior disponibilidade de nitrogênio solo com aumento na produção de clorofila e índices SPAD crescentes e lineares (MARANHÃO *et al.*, 2009; ERTHAL *et al.*, 2010). Contudo, outros autores demonstram que para o capim-Mombaça, quando o pasto atingiu o nível crítico de 25g de N kg⁻¹ de MS produzida, o índice

SPAD permaneceu constante, mesmo com o aumento dos teores de nitrogênio foliares (LAVRES JUNIOR *et al.*, 2010). As moléculas de clorofila estão localizadas em sítios proteicos e são produzidas por cloroplastos que podem sintetizar proteínas (MARANHÃO *et al.*, 2009), contudo, outros fatores, como sombreamento e doenças podem afetar a coloração das pastagens. O comportamento observado para as áreas 2, 3 e 4 onde os índices de NDVI e SPAD são crescentes de acordo com o aumento das doses nitrogenadas pode ser explicado em função do maior número de folhas e fitomassa. Entretanto, para a área 1, a produção de massa seca teve redução na maior dose do fertilizante nitrogenado, implicando, provavelmente, em menor área de dossel forrageiro para leitura dos equipamentos. A área 5 teve alguns contratempos no decorrer no período experimental sendo a última leitura realizada em período climático não propício ao desenvolvimento da forrageira, o que pode ter acarretado a não linearidade encontrada nas demais áreas.

7.3. Eficiência de uso do nitrogênio

A taxa de recuperação do fertilizante nitrogenado aplicado é resultado de um balanço entre o nitrogênio consumido pela cultura e o nitrogênio imobilizado pela microbiota do solo (HIREL *et al.*, 2007). Considerando as doses de nitrogênio aplicadas, as baixas eficiências de recuperação pela parte aérea da planta e os pequenos teores de nitrogênio presente no solo no final do experimento é possível fazer algumas inferências. Se os teores de nitrogênio no solo tivessem aumentado no final do experimento, poderia ser sugerida a hipótese de baixa recuperação do fertilizante devido a elevada competição pelo nitrogênio mineral oriundo da fertilização entre os microrganismos do solo e plantas, especialmente devido ao curto espaço de tempo entre amostragens (HODGE *et al.*, 2000). Tem sido reportada na literatura grande discrepância entre os teores de N mensurados no solo e a quantidade de nitrogênio extraída pela planta (NÄSHOLM *et al.*, 2009). Todavia, os teores de nitrogênio no solo ao final do experimento não demonstraram acúmulo, sugerindo que a planta absorveu o nitrogênio disponibilizado e alocou em partes não quantificadas na amostragem. O nitrogênio aplicado no solo e recuperado no sistema solo-planta pode ficar retido em partes não consumíveis da pastagem, sistema radicular, e solo. Em experimento onde se avaliou essa recuperação média obteve-se 29, 39 e 72% de nitrogênio

recuperado para parte aérea, sistema radicular mais solo e sistema solo mais planta, respectivamente (MARTHA JUNIOR *et al.*, 2004). Em experimento avaliando a recuperação de nitrogênio da ureia da planta inteira, não foram detectadas diferenças entre os adubos e formas de aplicação testada. Entretanto, quando se comparou a quantidade de nitrogênio presente isoladamente em cada componente da planta, observou-se maior recuperação do nitrogênio na coroa da forrageira (OLIVEIRA *et al.*, 2003). Mostrou-se dessa forma a necessidade de maiores esclarecimentos dos mecanismos de perdas de nitrogênio e, com isso, criação de estratégias que aumentem eficiência na utilização de nitrogênio, bem como a existência de influência do nitrogênio residual no solo na resposta da forrageira.

O método da diferença para cálculo da eficiência de uso de nitrogênio é considerado falho por alguns autores (FERNANDES e LIBARDI, 2010), uma vez que não contabiliza realmente todo o nitrogênio consumido pela cultura. Contudo, é um método de aplicabilidade prática e de baixo custo, quando comparado com o balanço de N¹⁵. Acredita-se que a recuperação de nitrogênio em sistemas de plantio direto seja bem mais abrangente do que sistemas convencionais (FERNANDES e LIBARDI, 2010). É importante também considerar que o efeito residual de adubações realizadas anteriormente podem reduzir a eficiência e resposta da planta ao fertilizante nitrogenado (MARTHA JÚNIOR *et al.*, 2009). Os valores encontrados para nitrogênio extraído, considerando as doses aplicadas do fertilizante nitrogenado estão baixos. Proporcionalmente o aumento dessa variável para a dose 200 kg de N ha⁻¹ foi pequeno, o que pode dar um indicativo de consumo de luxo por parte da planta forrageira, visto que quando o tecido da planta atinge o nível crítico de determinado nutriente, qualquer quantia do mesmo fornecida acima disso (DOW e ROBERTS, 1982) a planta não responde mais em aumento de produtividade ao fertilizante aplicado. A eficiência de utilização do nitrogênio, expressa pela relação kg MS produzida por dose de N aplicada demonstra claramente a provisão de nitrogênio oriunda do solo. Tem sido registradas produções de matéria seca de pastagens variando de 5 a 89,2 kg MS por kg de N aplicado (BALSALOBRE *et al.*, 2002), indicando que a resposta da planta a este tipo de adubação é variável e dependente de fatores edafoclimáticos, relativos à planta e manejo adotado na propriedade. Neste experimento as melhores relações, independente da área avaliada, foram na dose de 50 kg de N ha⁻¹, corroborando mais uma vez com a hipótese de grande parte do nitrogênio pode ter sido fornecido pelo solo.

Áreas agrícolas com histórico de adubações intensivas visando elevadas produtividades têm efeito residual de nitrogênio (WHITEHEAD, 1995) o que implica em baixas eficiências de uso de fertilizante nitrogenado. As diferentes medidas de eficiência calculadas nesse experimento foram melhores nas menores doses de fertilizante nitrogenado e nas áreas com menor tempo de intensificação. As áreas com maior tempo de intensificação tiveram mais de 50% das suas produções sendo oriundas do nitrogênio presente no solo. Relatos de pastagens com baixa ou pouca responsividade ao fertilizante nitrogenado são escassas (AGUIAR *et al.*, 2008; CAMPANA, 2008; OLIVEIRA *et al.*, 2009; BARBERO *et al.*, 2010) devido a pequena parcela de pastagens intensificadas existentes no país. Contudo, em áreas de milho sob o manejo de plantio direto já tem apresentado esse efeito (RAMBO *et al.*, 2007; RAMBO *et al.*, 2008; NOVAKOWISKI *et al.*, 2011; RAMBO *et al.*, 2011; SANDINI *et al.*, 2011) e algumas áreas de cana de açúcar também (OTTO *et al.*, 2013; MARIANO, 2015).

Em áreas de pastejo ocorre grande interação entre solo-planta-animal e essa dinâmica é complexa. Isso implica que a quantidade de nitrogênio fornecida à pastagem pode ser reduzida ao longo dos anos mantendo-se a mesma produção de forragem (PRIMAVESI *et al.*, 2008) desde que não existam outros fatores limitantes.

7.4. Relação entre atributos químicos do solo e eficiência de uso do nitrogênio

A identificação de características e/ou indicadores referentes à cultura ou solo e que possam favorecer a recomendação de determinado nutriente, visando maior precisão e flexibilidade no manejo nitrogenado são de grande importância (COELHO *et al.*, 2013). Para este experimento, na tentativa de encontrar algum atributo de solo que possa ser utilizado como preditor da resposta da cultura à adubação nitrogenada foram considerados os indicadores: ISNT, N mineral e N total nas camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade e as medidas de eficiência de uso de nitrogênio.

Apenas o índice eficiência de recuperação de nitrogênio e taxa de dependência do solo tiveram correlações com algum dos preditores testados. A medida que aumentou o teor de ISNT no solo, houve aumento da taxa de dependência do solo para produção de massa seca com redução da eficiência de recuperação do fertilizante aplicado. Embora o ISNT não tenha tido

influência sobre os demais índices de eficiência ele pode ser um possível indicador de resposta à adubação nitrogenada. Durante a escolha das áreas experimentais tentou-se buscar possíveis áreas com pequena ou até mesmo ausência de resposta à adubação nitrogenada. Visto os resultados apresentados não foi possível, mas, as áreas 1, 3 e 4 tiveram resposta produtiva quadrática nas maiores doses de nitrogênio utilizadas. Parece não haver correlação direta entre os teores de ISNT no solo e a produtividade das forrageiras (SHARIFI *et al.*, 2011) sendo necessária a busca pelos índices de eficiência. A metodologia do ISNT não parece sensível para identificar áreas não responsivas em pastagens tropicais, visto que os teores de ISNT apresentados no solo foram altos quando comparados com outras culturas em condições tropicais (FARIA, 2013; OTTO *et al.*, 2013; MARIANO, 2015; PEREIRA, 2015; SATTOLO, 2016). Para as condições edafoclimáticas tropicais talvez seja necessária a adoção de novos patamares para identificação de solos não responsivos. A dinâmica de crescimento da forrageira tropical e deposição de dejetos e/ou restos culturais existentes pelo manejo intensivo de pastagens também gera um ambiente específico com uma relação distinta entre solo-planta-atmosfera fazendo com que os teores de ISNT observados tenham sido bem maiores dos que os reportados na literatura. Mesmo com os altos teores de ISNT observados as pastagens avaliadas ainda foram responsivas ao nitrogênio, contudo esse índice foi um dos preditores encontrados para uma possível previsão de resposta a adubação. Talvez adaptações na metodologia como a adoção de extratores menos concentrados para condições tropicais possa apresentar resultados mais promissores (PEREIRA, 2015).

Da mesma forma que o ISNT, conforme o N mineral da camada de 0-20 cm de solo aumentou, a taxa de dependência do solo se elevou e a eficiência de recuperação do fertilizante foi reduzida. O atributo N total do solo também teve comportamento semelhante na camada 20-40 cm. Utilizar somente os teores de N mineral e total presentes no solo pode não ser uma opção com resultados constantes e promissores, visto que os teores de amônio e nitrato tem grande flutuação no perfil no solo (POLETTTO *et al.*, 2008) sendo dependentes das condições edafoclimáticas no momento da amostragem. Outro ponto negativo para esse tipo de preditor é a necessidade de uma amostragem de solo com procedimentos específicos (RAMBO *et al.*, 2007) desde o momento da coleta.

8. CONCLUSÃO

- Todas as áreas avaliadas foram responsivas à aplicação de nitrogênio;
- Respostas produtivas de pastagens manejadas intensivamente variam quanto à resposta ao nitrogênio de acordo com o tempo de intensificação. Áreas com maior tempo de intensificação apresentaram maior taxa de dependência do solo, enquanto áreas mais novas apresentaram maior eficiência na utilização do fertilizante nitrogenado;
- As variáveis qualitativas da forragem não foram influenciadas pelo tempo de intensificação da área, mas sim pelas doses de nitrogênio aplicadas;
- O ISNT e N mineral presentes no solo foram inversamente relacionados à resposta produtiva dos pastos. Esse estudo mostra potencial em utilizar índices de nitrogênio do solo para o manejo da adubação nitrogenada de pastagens intensivas;
- Estudos com maior tempo de duração precisam ser realizados.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, A. P. *et al.* Avaliação do ganho de peso diário de animais nelore submetidos em sistema de pastejo intensivo, em áreas com resíduo de adubação. **FAZU EM REVISTA**, n. 5, p. 79-83, 2008.

ALVES, J. D. S. *et al.* Características morfológicas e estruturais da *Brachiaria decumbens* Stapf. submetida a diferentes doses de nitrogênio e volumes de água. **Acta Veterinaria Brasilica**, v. 2, n. 1, p. 1-10, 2008.

AMADO, T. *et al.* Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 1, p. 241-248, 2002.

AOAC. **Official methods of analysis**. 17. ed. Arlington, VA: AOAC International, 2000.

ARAÚJO, L. A. N. *et al.* Adubação nitrogenada na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 8, p. 771-777, Aug 2004.

BAETHGEN, W.; ALLEY, M. A manual colorimetric procedure for measuring ammonium nitrogen in soil and plant Kjeldahl digests. **Communications in Soil Science & Plant Analysis**, v. 20, n. 9-10, p. 961-969, 1989.

BALOTA, E. L.; AULER, P. A. M. Soil microbial biomass under different management and tillage systems of permanent intercropped cover species in an orange orchard. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 6, p. 1873-1883, 2011.

BALSALOBRE, M. A. A. *et al.* Inovações tecnológicas, investimentos financeiros e gestão de sistemas de produção animal. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGENS, 19, 2002, Piracicaba. **Anais**. Piracicaba: FEALQ, 2002. p.1-30.

BARBERO, L. *et al.* Produção animal e valor nutritivo da forragem de pastagem de coastcross consorciada com amendoim forrageiro. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 62, n. 3, p. 645-653, 2010.

BARCELLOS, A. D. O. *et al.* Sustentabilidade da produção animal baseada em pastagens consorciadas e no emprego de leguminosas exclusivas, na forma de banco de proteína, nos trópicos brasileiros. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. SPE, p. 51-67, 2008.

BREMNER, J. Nitrogen-total. **Methods of Soil Analysis Part 3—Chemical Methods**, p. 1085-1121, 1996.

CAMARGO, A. C. *et al.* Características da produção de leite na agricultura familiar In: SIMPÓSIO SOBRE BOVINOCULTURA LEITEIRA, 2005, Piracicaba. **Anais**. Piracicaba: FEALQ, 2005. p.29-41.

CAMARGO, A. C. *et al.* Produção de leite a pasto. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGENS, 18, 2002, Piracicaba. **Anais**. Piracicaba: FEALQ, 2002. p.285-319.

CAMPANA, M. Efeito residual do nitrogênio no sistema solo-planta sobre a produtividade do capim-Tanzânia submetido a formas de aplicação e a fontes de adubo nitrogenado. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 45, 2008, Lavras. **Anais**. Lavras: SBZ, 2008.

CAMPBELL, C. *et al.* Evaluating potential nitrogen mineralization for predicting fertilizer nitrogen requirements of long-term field experiments. **Soil testing: Prospects for improving nutrient recommendations**, p. 81-100, 1994.

CANTARELLA, H. *et al.* Determinação de nitrogênio inorgânico em solo pelo método da destilação a vapor. In: **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Instituto Agrônomo Campinas, 2001. p. 270-276.

CANTARUTTI, R. *et al.* Pastagens. In: **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais** Viçosa/MG: CFSEMG/UFV, 1999. p. 332-341.

CANTARUTTI, R. *et al.* Impacto ambiental sobre o solo: compactação e reciclagem de nutrientes. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38, 2001, Piracicaba. **Anais**. Piracicaba: SBZ, 2001. p.826-837.

CARDOSO, E. L. *et al.* Estoques de carbono e nitrogênio em solo sob florestas nativas e pastagens no bioma Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 9, p. 1028-1035, 2011.

CARVALHO, N. L.; ZABOT, V. NITROGÊNIO: NUTRIENTE OU POLUENTE? **Electronic Journal of Management, Education and Environmental Technology (REGET)**, v. 6, n. 6, p. 960-974, 2012.

CASTAGNARA, D. D. *et al.* Produção de forragem, características estruturais e eficiência de utilização do nitrogênio em forrageiras tropicais sob adubação nitrogenada. **Semina: Ciências Agrárias**, p. 1637-1647, 2011.

COELHO, F. S. *et al.* Valor e predição do nível crítico de índices para avaliar o estado nitrogenado da batateira1. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 1, p. 115-122, 2013.

CORSI, M.; MARTHA JR, G. Manutenção da fertilidade do solo em sistemas intensivos de pastejo rotacionado. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGENS, 14, 1997, Piracicaba. **Anais**. Piracicaba: FEALQ 1997. p.161-192.

COSTA, C. *et al.* Evolução das pastagens cultivadas e do efetivo bovino no Brasil. **Veterinária e Zootecnia**, v. 15, n. 1, p. 8-17, 2008a.

COSTA, K. *et al.* Doses e fontes de nitrogênio na recuperação de pastagens do capim-marandu. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, 2010a.

COSTA, K. A. D. P. *et al.* Extração de nutrientes pela fitomassa de cultivares de *Brachiaria brizantha* sob doses de nitrogênio. **Ciência Animal Brasileira**, v. 11, n. 2, p. 307-314, 2010b.

COSTA, K. A. D. P. *et al.* Doses e fontes de nitrogênio na nutrição mineral do capim-marandu. **Ciência Animal Brasileira**, v. 10, n. 1, p. 115-123, 2009.

COSTA, K. A. D. P. *et al.* 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, 2008b.

CUI, Z. *et al.* On-farm evaluation of an in-season nitrogen management strategy based on soil N min test. **Field Crops Research**, v. 105, n. 1, p. 48-55, 2008.

DALPHIAN, T. *et al.* Implantação, manejo e adubação de pastagens. In: **Manual técnico**, 80. Campinas: CATI, 2012.

DIAS FILHO, M. B. Os desafios da produção animal em pastagens na fronteira agrícola brasileira. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, p. 243-252, 2011.

DOW, A. I.; ROBERTS, S. Proposal: Critical Nutrient Ranges for Crop Diagnosis1. **Agron. J.**, v. 74, n. 2, p. 401-403, 1982 1982.

DUBEUX, J. *et al.* Nutrient cycling in warm-climate grasslands. **Crop Science**, v. 47, n. 3, p. 915-928, 2007.

DUBEUX JR, J. C. B. *et al.* Ciclagem de nutrientes: perspectivas de aumento da sustentabilidade da pastagem manejada intensivamente. In: PEDREIRA, C. G. S. *et al* (Ed.). **Fertilidade do solo para pastagens produtivas**. Piracicaba: FEALQ, 2004. p. 357-400.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 1997. Rio de Janeiro: Embrapa Solos.

ERTHAL, V. J. *et al.* Características fisiológicas, nutricionais e rendimento de forrageiras fertigadas com água residuária de bovinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 5, p. 458-466, 2010.

EUCLIDES, V. P. B. *et al.* Eficiência biológica e econômica de pasto de capim-tanzânia adubado com nitrogênio no final do verão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 9, p. 1345-1355, 2007.

EUCLIDES, V. P. B.; MEDEIROS, S. R. D. **Valor nutritivo das principais gramíneas cultivadas no Brasil**. Embrapa Gado de Corte, 2003.

FARIA, L. D. A. **Dinâmica do nitrogênio proveniente de ureia combinada a tecnologias redutoras de volatilização.** 2013. 102 f. Tese (doutorado), Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba/SP, 2013.

FERNANDES, F. C. S. *et al.* Doses, eficiência e uso de nitrogênio por seis cultivares de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 4, n. 02, 2010.

FERNANDES, F. C. S.; LIBARDI, P. L. Percentagem de recuperação de nitrogênio pelo milho, para diferentes doses e parcelamentos do fertilizante nitrogenado. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 6, n. 03, 2010.

FORTES, C. *et al.* Contribution of nitrogen from sugarcane harvest residues and urea for crop nutrition. **Scientia Agricola**, v. 70, n. 5, p. 313-320, 2013.

FRANÇA, A. F. D. S. *et al.* Parâmetros nutricionais do capim-tanzânia sob doses crescentes de nitrogênio em diferentes idades de corte. **Ciência Animal Brasileira**, v. 8, n. 4, p. 695-703, 2007.

FREITAS, K. R. *et al.* Avaliação da composição químico-bromatológica do capim mombaça (*Panicum maximum* Jacq.) submetido a diferentes doses de nitrogênio. **Bioscience Journal**, v. 23, n. 3, 2007.

GHIBERTO, P. *et al.* Leaching of nutrients from a sugarcane crop growing on an Ultisol in Brazil. **Agricultural Water Management**, v. 96, n. 10, p. 1443-1448, 2009.

HASSINK, J. **Organic matter dynamics and N mineralization in grassland soils.** 1995. 250 f. (PhD Thesis), Research Institute for Agrobiolgy and Soil Fertility, Agricultural University, The Netherlands/Wageningen, 1995.

HAYNES, R.; WILLIAMS, P. Nutrient cycling and soil fertility in the grazed pasture ecosystem. **Advances in agronomy**, v. 49, p. 119-199, 1993.

HIREL, B. *et al.* The challenge of improving nitrogen use efficiency in crop plants: towards a more central role for genetic variability and quantitative genetics within integrated approaches. **Journal of Experimental Botany**, v. 58, n. 9, p. 2369-2387, July 1, 2007 2007.

HODGE, A. *et al.* Are microorganisms more effective than plants at competing for nitrogen? **Trends in plant science**, v. 5, n. 7, p. 304-308, 2000.

HODGSON, J. **Grazing management. Science into practice.** Longman Group UK Ltd., 1990.

JENKINSON, D. Determination of microbial biomass carbon and nitrogen in soil. **Advances in nitrogen cycling in agricultural ecosystems**, p. 368-386, 1988.

KHAN, S. *et al.* A simple soil test for detecting sites that are nonresponsive to nitrogen fertilization. **Soil Science Society of America Journal**, v. 65, n. 6, p. 1751-1760, 2001.

KLAPWYK, J. H.; KETTERINGS, Q. M. Soil tests for predicting corn response to nitrogen fertilizer in New York. **Agronomy Journal**, v. 98, n. 3, p. 675-681, 2006.

KWON, H.-Y. *et al.* Characterization of the organic nitrogen fraction determined by the Illinois soil nitrogen test. **Soil Science Society of America Journal**, v. 73, n. 3, p. 1033-1043, 2009.

LABOSKI, C. *et al.* Evaluation of the Illinois soil nitrogen test in the north central region of the United States. **Agronomy Journal**, v. 100, n. 4, p. 1070-1076, 2008.

LANA, R. M. Q. *et al.* Alterações na produtividade e composição nutricional de uma pastagem após segundo ano de aplicação de diferentes doses de cama de frango. **Bioscience Journal**, v. 26, n. 2, 2010.

LAVRES JUNIOR, J. *et al.* Nitrate reductase activity and spad readings in leaf tissues of guinea grass submitted to nitrogen and potassium rates. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 3, p. 801-809, 2010.

LUGÃO, S. M. B. *et al.* Acúmulo de forragem e eficiência de utilização do Nitrogênio em pastagens de *Panicum maximum* Jacq.(Acesso BRA-006998) adubadas com nitrogênio. **Acta Scientiarum, Animal Sciences**, v. 25, n. 2, p. 371-379, 2008.

MACEDO, M. C. M. *et al.* Degradação de pastagens, alternativas de recuperação e renovação, e formas de mitigação. In: **Encontro de adubação de pastagens da Scot Consultoria** Ribeirão Preto: Scot Consultoria, 2013. p. 158-81.

MALAVOLTA, E. *et al.* **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafós, 1997.

MARANHÃO, C. M. D. A. *et al.* Produção e composição químico-bromatológica de duas cultivares de braquiária adubadas com nitrogênio e sua relação com o índice SPAD. **Acta Scientiarum, Animal Sciences**, v. 31, n. 2, p. 117-122, 2009.

MARIANO, E. **Predição da necessidade de fertilizante nitrogenado pela cana-de-açúcar e reações do nitrogênio orgânico e mineral dissolvidos em palha e solo de canaviais**. 2015. 147 f. Tese (doutorado), Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 2015.

MARTHA JÚNIOR, G. B. *et al.* Absorção foliar pelo capim-Tanzânia da amônia volatilizada do ¹⁵N-uréia aplicada ao solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 103-108, 2009.

- MARTHA JUNIOR, G. B. *et al.* Manejo da adubação nitrogenada em pastagens. In: Simpósio sobre manejo de pastagens, 21, 2004, Piracicaba. **Anais**. Piracicaba, 2004. p.155-216.
- MASCLAUX-DAUBRESSE, C. *et al.* Nitrogen uptake, assimilation and remobilization in plants: challenges for sustainable and productive agriculture. **Annals of botany**, v. 105, n. 7, p. 1141-1157, 2010.
- MELLO, S. Q. S. *et al.* 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.
- MERTENS, D. R. Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fiber in feeds with refluxing in beakers or crucibles: collaborative study. **Journal of AOAC International**, v. 85, n. 6, p. 1217-1240, 2002.
- MOREIRA, M. A.; VIDIGAL, S. M. Evolução das características da planta associadas à nutrição nitrogenada de repolho. **Revista Ceres**, v. 58, n. 2, 2011.
- MOTA, V. J. G. *et al.* Lâminas de irrigação e doses de nitrogênio em pastagem de capim-elefante no período seco do ano no norte de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 6, p. 1191-1199, 2010.
- MULVANEY, R. Nitrogen—inorganic forms. **Methods of Soil Analysis Part 3—Chemical Methods**, p. 1123-1184, 1996.
- MULVANEY, R.; KHAN, S. Diffusion methods to determine different forms of nitrogen in soil hydrolysates. **Soil Science Society of America Journal**, v. 65, n. 4, p. 1284-1292, 2001.
- NÄSHOLM, T. *et al.* Uptake of organic nitrogen by plants. **New Phytologist**, v. 182, n. 1, p. 31-48, 2009.
- NOVAKOWSKI, J. H. *et al.* Efeito residual da adubação nitrogenada e inoculação de *Azospirillum brasilense* na cultura do milho. **Semina: Ciências Agrárias, Londrina**, v. 32, n. suplemento 1, p. 1687-1698, 2011.
- OLIVEIRA, P. P. A. *et al.* Composição nitrogenada de uma pastagem de *Panicum maximum* cv. Tanzânia sob manejo intensivo não responsiva à fertilização nitrogenada. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 46, 2009, Maringá. **Anais**. Maringá: SBZ, 2009.
- OLIVEIRA, P. P. A. *et al.* **Métodos para avaliar as perdas de nitrogênio por volatilização da superfície do solo e por emissão de amônia pela folhagem de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu**. Embrapa Pecuária Sudeste: São Carlos, p.41. 2008. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 16).

OLIVEIRA, P. P. A. *et al.* Eficiência da fertilização nitrogenada com uréia (^{15}N) e *Brachiaria brizantha* cv. Marandu associada ao parcelamento de superfosfato simples e cloreto de potássio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 613-620, 2003.

OLIVEIRA, P. P. A. *et al.* Balanço do nitrogênio (^{15}N) da uréia nos componentes de uma pastagem de capim-marandu sob recuperação em diferentes épocas de calagem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, p. 1982-1989, 2007.

OSTERHAUS, J. T. *et al.* Evaluation of the Illinois soil nitrogen test for predicting corn nitrogen needs. **Soil Science Society of America Journal**, v. 72, n. 1, p. 143-150, 2008.

OTTO, R. *et al.* Quantifying soil nitrogen mineralization to improve fertilizer nitrogen management of sugarcane. **Biology and Fertility of Soils**, v. 49, n. 7, p. 893-904, 2013.

PARIZ, C. M. *et al.* Straw decomposition of nitrogen-fertilized grasses intercropped with irrigated maize in an integrated crop-livestock system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 6, p. 2029-2037, 2011.

PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo: decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 911-920, 2008.

PENATI, M. A. *et al.* Número de amostras e relação dimensão: formato da moldura de amostragem para determinação da massa de forragem de gramíneas cespitosas. **Revista Brasileira De Zootecnia-Brazilian Journal of Animal Science**, v. 34, n. 1, p. 36-43, Jan-Feb 2005.

PEREIRA, G. H. A. *et al.* Decomposição da serrapilheira, diversidade e funcionalidade de invertebrados do solo em um fragmento de floresta atlântica. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 5, 2013.

PEREIRA, G. L. **Transformações do nitrogênio no solo e a resposta da cana-planta à adubação nitrogenada em função da rotação com crotalária**. 2015. 78 f. Dissertação (mestrado), Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba/SP, 2015.

PEREIRA, O. G. *et al.* Características morfogênicas e estruturais do capim-tifton 85 sob doses de nitrogênio e alturas de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 9, p. 1870-1878, 2011.

POLAQUINI, L. E. M. *et al.* Transformações técnico-produtivas e comerciais na pecuária de corte brasileira a partir da década de 90. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, n. 1, p. 321-327, 2006.

POLETTTO, N. *et al.* Flutuação diária e estacional de nitrato e amônio em um Argissolo Vermelho distrófico típico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 4, p. 1619-1626, 2008.

PRIMAVESI, O. *et al.* **Adubação com uréia em pastagem de *Cynodon dactylon* cv Coast-cross sob manejo rotacionado: eficiências e perdas.** Embrapa Pecuária Sudeste: São Carlos. 2001. (Circular técnica, 30).

PRIMAVESI, O. *et al.* **Calagem superficial em pastagens de *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk sob adubação nitrogenada intensa.** Embrapa Pecuária Sudeste: São Carlos. 2008. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 15).

RAIJ, B. V. In: **Soil fertility and fertilization.** Agronômica Ceres Ltda, 1991. p. 71-86.

RAMBO, L. *et al.* Índices nutricionais de N e produtividade de milho em diferentes níveis de manejo e de adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 46, n. 4, p. 390-397, 2011.

RAMBO, L. *et al.* Adequação de doses de nitrogênio em milho com base em indicadores de solo e de planta. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 43, n. 3, p. 401-409, 2008.

RAMBO, L. *et al.* Monitoramento do nitrogênio na planta e no solo para predição da adubação nitrogenada em milho. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 42, n. 3, p. 407-417, 2007.

RUFFO, M. L. *et al.* Spatial variability of the Illinois soil nitrogen test. **Agronomy Journal**, v. 97, n. 6, p. 1485-1492, 2005.

RUSSELLE, M.; GOMIDE, J. Nutrient cycling in pasture. **Simpósio Internacional sobre Produção Animal em Pastejo**, 1997.

SÁ, J. *et al.* Fracionamento de carboidratos e proteínas de gramíneas tropicais cortadas em três idades. **Arq. bras. med. vet. zootec**, p. 667-676, 2010.

SANDINI, I. E. *et al.* Efeito residual do nitrogênio na cultura do milho no sistema de produção integração lavoura-pecuária. **Ciência Rural**, v. 41, n. 8, 2011.

SANTOS, M. E. R. *et al.* Caracterização dos perfilhos em pastos de capim-braquiária diferidos e adubados com nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 4, p. 643-649, 2009.

SANTOS, P. M. *et al.* Uso de nitrogênio em pastagens: estratégias de aplicação. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGENS, 21, 2007, Piracicaba. **Anais**. Piracicaba: FEALQ, 2007. p.131-152.

SATTOLO, T. M. S. **Adubação nitrogenada em cana-de-açúcar: efeitos na fertilidade do solo, transformações microbianas e estoques de carbono e nitrogênio**. 2016. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz, 2016.

SHARIFI, M. *et al.* Long-term effects of semisolid beef manure application to forage grass on soil mineralizable nitrogen. **Soil Science Society of America Journal**, v. 75, n. 2, p. 649-658, 2011.

SILVA, D. R. G. *et al.* Eficiência nutricional e aproveitamento do nitrogênio pelo capim-marandu de pastagem em estágio moderado de degradação sob doses e fontes de nitrogênio. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 2, p. 242-249, 2011.

SILVA, D. R. G. *et al.* Rates and sources of nitrogen in the recovery of the structural and productive characteristics of marandu grass. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 1, p. 184-191, 2013.

SOUZA, D. M. G. *et al.* **Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto no cerrado**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2013.

TISDALE, S. *et al.* Soil and fertilizer nitrogen. **Soil fertility and fertilizers**, v. 4, p. 112-183, 1993.

TRIVELIN, P. C. O. *et al.* Impact of sugarcane trash on fertilizer requirements for São Paulo, Brazil. **Scientia Agricola**, v. 70, n. 5, p. 345-352, 2013.

VAN SOEST, P. J. *et al.* Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal of Dairy Science**, v. 74, n. 10, p. 3583-3597, 1991.

VARGAS, L.; SCHOLLES, D. Nitrogênio da biomassa microbiana, em solo sob diferentes sistemas de manejo, estimado por métodos de fumigação. **Bras. Ci. Solo**, v. 22, p. 411-417, 1998.

VENDRAMINI, J. *et al.* Environmental impacts and nutrient recycling on pastures grazed by cattle. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, p. 139-149, 2007.

VENDRAMINI, J. M. *et al.* Nutrient cycling in tropical pasture ecosystems. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 2, p. 308-315, 2014.

VIANA, M. C. M. *et al.* Production and nutrition of irrigated Tanzania guinea grass in response to nitrogen fertilization. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 43, n. 5, p. 238-243, 2014.

VILELA, L. *et al.* Calagem e adubação para pastagens. In: SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina: Embrapa-CPAC, 2002. p. 367-382.

VITTI, A. C. *et al.* Produtividade da cana-de-açúcar relacionada ao nitrogênio residual da adubação e do sistema radicular. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 42, n. 2, p. 249-256, 2007.

WEBER, M. A.; MIELNICZUK, J. Estoque e disponibilidade de nitrogênio no solo em experimento de longa duração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 2, p. 428-437, 2009.

WERNER, J. C. *et al.* Forrageiras. In: RAIJ, B. *et al* (Ed.). **Recomendação de adubação e calagem para o estado de São Paulo (Boletim técnico 100)**. Campinas: IAC, 1996.

WHITEHEAD, D. C. **Grassland nitrogen**. Wallingford: CAB International, 1995.

ZAK, D. R. *et al.* Soil temperature, matric potential, and the kinetics of microbial respiration and nitrogen mineralization. **Soil Science Society of America Journal**, v. 63, n. 3, p. 575-584, 1999.

ZHOU, W. *et al.* Regular Nitrogen Application Increases Nitrogen Utilization Efficiency and Grain Yield in Indica Hybrid Rice. **Agronomy Journal**, v. 108, n. 5, p. 1951-1961, 2016.