

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

**ESCARIFICAÇÃO E ADUBAÇÃO COM CAMA DE
AVES NA PRODUÇÃO DE TIFTON 85**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Giseli Colussi

**Santa Maria, RS, Brasil
2013**

PPGCS/UFSM, RS

COLUSSI, Giseli

Mestre

2013

ESCARIFICAÇÃO E ADUBAÇÃO COM CAMA DE AVES NA PRODUÇÃO DE TIFTON 85

Giseli Colussi

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração em Processos Químicos e Ciclagem de Elementos, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre em Ciência do Solo.**

Orientador: Prof. Dr. Leandro Souza da Silva

**Santa Maria, RS, Brasil
2013**

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Colussi, Giseli
ESCARIFICAÇÃO E ADUBAÇÃO COM CAMA DE AVES NA
PRODUÇÃO DE TIFTON 85 / Giseli Colussi.-2013.
94 p.; 30cm

Orientador: Leandro Souza da Silva
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria,
Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós- Graduação em Ciência do
Solo, RS, 2013

1. Qualidade estrutural do solo 2. Adubação Orgânica
3. Cynodon dactylon 4. Fenação I. Souza da Silva, Leandro
II. Título.

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo**

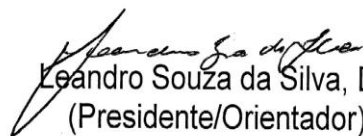
A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**ESCARIFICAÇÃO E ADUBAÇÃO COM CAMA DE AVES
NA PRODUÇÃO DE TIFTON 85**

Elaborada por
Giseli Colussi

Como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Ciência do Solo

COMISSÃO EXAMINADORA:


Leandro Souza da Silva, Dr.
(Presidente/Orientador)


João Alfredo Braida, Dr. (UFFS)


Sandro José Giacomini, Dr. (UFSM)

Santa Maria, 12 de Julho de 2013

Aos meus pais Sineide L. Colussi e Jocemar Colussi por terem feito tudo por mim. Exemplos de força, garra e luta, a quem devo toda a minha formação. Minha eterna gratidão.

Ao meu namorado e amigo Joaquim J. Scariot, por todo o companheirismo e incentivo durante a minha caminhada. Meu reconhecimento e eterno carinho.

As minhas irmãs Tanicler Colussi e Kelly Colussi pela força, ajuda e ensinamentos durante todos esses anos.

Dedico

AGRADECIMENTOS

À Deus, por ter me dado coragem e sabedoria para enfrentar novos obstáculos.

À Universidade Federal de Santa Maria que possibilitou a realização do curso de mestrado e deste trabalho.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná por disponibilizar o laboratório de solos para realização das avaliações.

Ao CNPq pela bolsa concedida.

Ao programa de Pós-Graduação em Ciência do solo. Em especial aos professores, pela paciência e disposição em ensinar.

Ao professor Dr. Leandro Souza da Silva, pela orientação e dedicação. Agradeço pela paciência, atenção, ensinamentos, confiança, e principalmente pela oportunidade de aperfeiçoamento técnico, profissional e humano.

Aos amigos Evandro A. Minato, Cleiton L. Tabolka, Everlon C. Gasparetto, Romário Lemes, Anaí Ottonelli e Bruna D. Pimenta, que auxiliaram na instalação do experimento e análises laboratoriais.

Em certos momentos da vida surgem pessoas decisivas ao nosso sucesso. Agradeço a todos os meus familiares e amigos que participaram direta ou indiretamente deste trabalho e do mestrado, incentivando e dando força.

“Pensamentos tornam-se ações, ações tornam-se hábitos, hábitos tornam-se caráter, e nosso caráter torna-se nosso destino.”

(James C. Hunter)

*“A mente que se abre a uma nova ideia
jamais voltará ao seu tamanho original.”*

(Albert Einstein)

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo
Universidade Federal de Santa Maria

ESCARIFICAÇÃO E ADUBAÇÃO COM CAMA DE AVES NA PRODUÇÃO DE TIFTON 85

AUTORA: Giseli Colussi

ORIENTADOR: Leandro Souza da Silva

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 12 de julho de 2013.

A produção intensiva de forrageiras para fenação aumenta os riscos de degradação física do solo e a escarificação, associada ou não com a adubação orgânica, podem ser alternativas para a recuperação estrutural desses solos. O objetivo do trabalho foi avaliar os efeitos da escarificação do solo e da adubação com cama de aves na densidade, porosidade, condutividade hidráulica do solo e resistência do solo à penetração (RP) e na produtividade e qualidade da Tifton 85 sob fenação. O experimento foi conduzido em uma área de Tifton 85 (*Cynodon dactylon*) sob fenação há dez anos. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, em fatorial 2x6, com parcelas subdivididas e quatro repetições, tendo como tratamentos na parcela principal: 1) solo escarificado; e 2) solo não escarificado; e nas subparcelas: a) aplicação de cama de aves na primavera, com reaplicação de N mineral nos cortes (AO+N); b) aplicação de cama de aves na primavera sem reaplicação de N (AO); c) adubação mineral NPK na primavera, com reaplicação de N mineral nos cortes (AM+N); d) adubação mineral NPK na primavera sem reaplicação de N (AM); e) sem adubação, com aplicação de N nos cortes (T+N); f) sem adubação e sem aplicação de N (T). A escarificação promoveu alterações significativas nos atributos físicos do solo, principalmente na profundidade de 0,03-0,08 m, sendo que os valores de RP permaneceram abaixo de 2,5 MPa, treze meses após a escarificação. O curto período entre a escarificação e o primeiro corte para fenação prejudicou a produtividade da Tifton 85, mas não houve diferença na produtividade acumulada entre os manejos do solo ao fim de uma estação de crescimento da pastagem (quatro cortes). A produtividade com o uso de cama de aves foi inferior à adubação mineral no somatório dos quatro cortes da gramínea, porém com comportamento variado ao longo dos cortes e as maiores produtividades foram obtidas nos tratamentos com reaplicação de nitrogênio. Aspectos econômicos e ambientais devem ser utilizados para a definição da fonte de nutrientes a ser utilizada e a complementação com N mineral após os cortes pode ser fundamental para a produção da pastagem que recebe adubação orgânica anualmente.

Palavras-chave: Qualidade estrutural do solo, adubação orgânica e fenação.

ABSTRACT

Master Course Dissertation
Post-Graduate Program in Soil Science
Federal University of Santa Maria

CHISELING AND BROILER LITTER FERTILIZATION FOR TIFTON 85 BERMUDAGRASS PRODUCTION

AUTHOR: Giseli Colussi

ADVISER: Leandro Souza da Silva

Defense Place and Date: Santa Maria, July 12, 2013.

The intensive forage production for hay increases the risk of soil physical degradation and the soil chiseling, with or without organic fertilization, could be alternatives to soil structural recovery. The objective of this study was to evaluate the soil chiseling and poultry litter fertilization effects on soil bulk density, porosity, saturated hydraulic conductivity and soil penetration resistance and Tifton 85 production and quality. The experiment was conducted in a soil with Tifton 85 hay production for ten years. The soil management were: 1) chiseled soil and 2) soil without chiseling; the fertilization treatments: a) broiler litter in spring with reapplication of mineral N in the cuts (AO+N); b) broiler litter in spring (AO); c) mineral fertilization NPK in spring with reapplication of mineral N in the cuts (AM+N); d) mineral fertilization NPK in spring (AM); e) without fertilization with reapplication of mineral N in the cuts (T+N); f) without fertilization (T). Significant changes in soil physical properties occurred with chiseling, especially at 0,03-0,08 m depth, and thirteen months after chiseling the RP values remained below 2,5 MPa. The short period between the first cut and chiseling harmed the Tifton 85 production, with no difference between the soil management in the end of bermudagrass growing season (four cuts). Tifton 85 with poultry litter produced less dry matter than with mineral fertilizer on the sum of four cuts of bermudagrass, but with varied behavior during the cuts and the higher productivity was in treatments with nitrogen reapplication. Economic and environmental aspects should be used to definition of nutrient source to be used and mineral N supplementation after the cuts may be essential for the production of pasture receiving organic manure annually.

Key words: Soil structural quality, organic fertilization and hay.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Resistência do solo à penetração (A) e umidade gravimétrica (B), antes da instalação do experimento, Chopinzinho, PR, setembro de 2011.	40
Figura 2 – Precipitação pluviométrica no período experimental, de outubro de 2011 a novembro de 2012.	40
Figura 3 – Vista do experimento antes da adubação e logo após a realização da escarificação do solo, Chopinzinho, PR, outubro de 2011.	41
Figura 4 – Escarificador utilizado para o manejo do solo.	42
Figura 5 – Vista do experimento em 20 de dezembro de 2011(A) e 17 de fevereiro de 2012 (B).....	43
Figura 6 – Área de Tifton 85 cortada para amostragem de produtividade.	44
Figura 7 – Cadinhos filtrantes para determinação do teor de fibra em detergente neutro.	46
Figura 8 – Disposição dos anéis metálicos para coleta de solo.	47
Figura 9 – Resistência mecânica do solo a penetração (A) e umidade gravimétrica do solo (B), nos diferentes manejos do solo (escarificado e não escarificado), após o primeiro corte da Tifton 85, janeiro de 2012.	57
Figura 10 – Resistência mecânica do solo a penetração (A) e umidade gravimétrica do solo (B), nos diferentes manejos do solo (escarificado e não escarificado), após quatro cortes da Tifton 85, novembro de 2012.	58
Figura 11 – Resistência mecânica do solo à penetração na profundidade de 0,05-0,10 m, em função das adubações (adubação orgânica (AO); adubação mineral (AM) e testemunha (T), sem e com reposição de N (+N) nos cortes), após quatro cortes da Tifton 85, novembro de 2012.	60
Figura 12 – Rendimento de matéria seca, no primeiro corte da Tifton 85 submetida a diferentes adubações (A) (adubação orgânica (AO); adubação mineral (AM) e testemunha (T), sem e com reposição de N (+N) nos cortes) e manejos do solo (B) (não escarificado e escarificado).....	62

- Figura 13 – Rendimento de matéria seca, no segundo corte da Tifton 85 submetida a diferentes manejos do solo (não escarificado e escarificado) e adubações (adubação orgânica (AO); adubação mineral (AM) e testemunha (T), sem e com reposição de N (+N) nos cortes).....64
- Figura 14 – Rendimento de matéria seca, no terceiro corte da Tifton 85 submetida a diferentes adubações (A) (adubação orgânica (AO); adubação mineral (AM) e testemunha (T), sem e com reposição de N (+N) nos cortes) e manejos do solo (B) (não escarificado e escarificado).....65
- Figura 15 – Rendimento de matéria seca, no quarto corte da Tifton 85 submetida a diferentes adubações (adubação orgânica (AO); adubação mineral (AM) e testemunha (T), sem e com reposição de N (+N) nos cortes).....67
- Figura 16 – Produtividade acumulada de matéria seca, dos quatro cortes da Tifton 85 submetida a diferentes adubações (adubação orgânica (AO); adubação mineral (AM) e testemunha (T), sem e com reposição de nitrogênio (+N) nos cortes).68
- Figura 17 – Valores de pH no solo em função da adubação (adubação orgânica (AO); adubação mineral (AM) e testemunha (T), sem e com reposição de N (+N) nos cortes), após o quarto corte da Tifton 85, julho de 2012.71
- Figura 18 – Concentração de potássio no solo, em função da adubação (adubação orgânica (AO); adubação mineral (AM) e testemunha (T), sem e com reposição de N (+N) nos cortes), após o quarto corte da Tifton 85, julho de 2012.72
- Figura 19 – Exportação de nitrogênio pela Tifton 85 (A) e recuperação aparente de nitrogênio (B), em quatro cortes em função da adubação (adubação orgânica (AO), adubação mineral (AM) e testemunha (T), sem e com reposição de N (+N) nos cortes).73
- Figura 20 – Exportação de fósforo e potássio pela Tifton 85 em quatro cortes em função da adubação (adubação orgânica (AO), adubação mineral (AM) e testemunha (T), sem e com reposição de N (+N) nos cortes).....74
- Figura 21 – Exportação de cálcio e magnésio pela Tifton 85 em quatro cortes em função da adubação (adubação orgânica (AO), adubação mineral (AM) e testemunha (T), sem e com reposição de N (+N) nos cortes).....75

Figura 22 – Teor de proteína bruta na Tifton 85 em função da adubação (adubação orgânica (AO), adubação mineral (AM) e testemunha (T), sem e com reposição de N (+N) nos cortes), no primeiro (A), terceiro (B) e quarto (C) corte.76

Figura 23 – Teor de fibra em detergente neutro na Tifton 85 em função da adubação (adubação orgânica (AO), adubação mineral (AM) e testemunha (T), sem e com reposição de N (+N) nos cortes), no primeiro (A), terceiro (B) e quarto (C) corte, e em função do manejo do solo (não escarificado e escarificado) no terceiro (B) corte. ...77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Atributos químicos do solo antes da instalação do experimento, Chopinzinho, PR, setembro de 2011.....	39
Tabela 2 – Atributos físicos do solo antes da instalação do experimento, Chopinzinho, PR, setembro de 2011.....	39
Tabela 3 – Teores de nutrientes aplicados.....	42
Tabela 4 – Descrição dos implementos utilizados para fenação e área trafegada para cada etapa do processo.	44
Tabela 5 – Densidade do solo, porosidade total, macroporos, microporos e condutividade hidráulica saturada após o primeiro corte da Tifton 85, submetida a diferentes manejos do solo (não escarificado e escarificado), janeiro de 2012.	51
Tabela 6 – Densidade do solo, porosidade total, macroporos, microporos e condutividade hidráulica saturada após o quarto corte da Tifton 85, submetida a diferentes manejos do solo (não escarificado e escarificado), julho de 2012.....	52
Tabela 7 – Custo das adubações por hectare e por tonelada de matéria seca (MS) produzida.....	69
Tabela 8 – Atributos químicos do solo em profundidade, após o quarto corte da Tifton 85, julho de 2012.....	70

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A – Quadrado médio das fontes de variação para os atributos físicos na profundidade de 0,03-0,08 m, e químicos do solo na profundidade de 0,0-0,10 m, Chopinzinho, PR, 2013.	90
Apêndice B – Quadrado médio das fontes de variação para os atributos físicos na profundidade de 0,10-0,15 m, e químicos do solo na profundidade de 0,10-0,20 m, Chopinzinho, PR, 2013.	91
Apêndice C – Quadrado médio das fontes de variação para os atributos físicos na profundidade de 0,20-0,25 m, e químicos do solo na profundidade de 0,20-0,30 m, Chopinzinho, PR, 2013.	92
Apêndice D – Quadrado médio das fontes de variação para resistência do solo a penetração nas diferentes profundidades, Chopinzinho, PR, 2013.....	93
Apêndice E – Quadrado médio das fontes de variação para as variáveis produção de matéria seca, exportação de nutrientes e teores de proteína bruta (PB) e fibra em detergente neutro (FDN) da Tifton 85, Chopinzinho, PR, 2013.....	94

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
2 OBJETIVOS	21
2.1 Objetivos específicos	21
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
3.1 Produção de forragem para fenação	22
3.1.1 Características da gramínea Tifton 85	23
3.2 Manejo do solo na produção de feno	25
3.2.1 Compactação do solo e seus efeitos.....	26
3.2.2 A escarificação para descompactação do solo	31
3.3 Manejo da adubação da Tifton 85 para fenação	33
3.3.1 Cama de aves na adubação de pastagens	34
4 MATERIAIS E MÉTODOS	38
4.1 Localização da área experimental.....	38
4.2 Histórico da área	38
4.2.1 Precipitação pluviométrica	40
4.3 Delineamento experimental e tratamentos	41
4.4 Cortes e avaliações da Tifton 85	43
4.4.1 Rendimento de matéria seca.....	45
4.4.2 Exportação de nutrientes	45
4.4.3 Proteína bruta e fibra em detergente neutro.....	45
4.5 Amostragem do solo	46
4.5.1 Determinação das características físicas do solo.....	47
4.5.2 Determinação das características químicas do solo	49
4.6 Análises estatísticas	49
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
5.1 Alterações em propriedades físicas do solo	50
5.2 Rendimento de matéria seca da Tifton 85.....	61
5.2.1 Rendimento de matéria seca no primeiro corte.....	61
5.2.2 Rendimento de matéria seca no segundo corte	63
5.2.3 Rendimento de matéria seca no terceiro corte.....	64
5.2.4 Rendimento de matéria seca no quarto corte.....	66

5.2.5 Rendimento acumulado de matéria seca em quatro cortes	67
5.3 Teores de nutrientes no solo após quatro cortes da Tifton 85.....	69
5.4 Exportação de nutrientes pela Tifton 85.....	72
5.5 Qualidade da forragem.....	75
6 CONCLUSÕES	79
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	80
8 REFERÊNCIAS.....	81
APÊNDICES	90

1 INTRODUÇÃO

A grande demanda de forragem para a produção pecuária intensiva excede, de maneira geral, a capacidade de produção sustentável das pastagens e dos solos que as suportam. O aumento na necessidade de forragem resulta em incremento das áreas destinadas à fenação e exige a utilização de forrageiras de elevada produtividade e qualidade, além da utilização intensiva de máquinas e implementos agrícolas nos processos de produção e colheita, aumentando os riscos de degradação química e física do solo (GIAROLA et al., 2007). Entre várias gramíneas perenes de verão, a Tifton 85 (*Cynodon dactylon* L. Pers) é uma das que proporciona forragem com melhor digestibilidade aos animais e é capaz de produzir elevada quantidade de matéria seca (BURTON, 2001), sendo uma boa opção para pastejo e fenação.

A qualidade física do solo esta associada aos processos de infiltração, retenção, movimentação e a disponibilização da água para a biota do solo, às plantas e aos mananciais superficiais e subterrâneos; à resposta ao manejo e à capacidade de resistir à degradação; à adequada troca de calor e de gases com a atmosfera e raízes de plantas; e ao crescimento e desenvolvimento das raízes (REICHERT et al., 2003). O manejo intensivo do solo, com elevado tráfego de máquinas, pode causar a degradação física do solo (STRECK et al., 2004) especialmente por ocorrer uma diminuição do espaço poroso (compactação), com implicações sobre a movimentação de água e de gases no seu interior e na resistência que oferecem ao crescimento das raízes das plantas. Tais alterações resultam na redução da taxa de infiltração de água no solo e na quantidade de água disponível às plantas. Além disso, em períodos de chuvas intensas pode haver dificuldades nas trocas gasosas entre o solo e a atmosfera e, em períodos secos, dificuldades para a penetração de raízes (BRAIDA, 2004), com reflexos na produtividade das culturas.

A problemática no estudo da compactação é que, tanto os solos como as culturas, respondem de forma diferente à compactação do solo, acarretando em recomendações de manejo do solo, muitas vezes, específicas para cada situação, havendo necessidade de se estudar este fenômeno em diferentes solos, culturas,

variedades e condições climáticas (REICHERT et al., 2007). Existem diversos estudos para a minimização do efeito da compactação, porém a maioria é realizada em lavouras com culturas anuais, havendo poucos estudos com pastagens perenes (COLET et al., 2009). A ideia que apenas os atributos químicos dos solos limitam a produtividade das pastagens perenes ainda persiste, por ser mais difícil estabelecer relações entre a produtividade das culturas e os atributos físicos do solo (GIAROLA et al., 2007). Essa dificuldade decorre, principalmente, da elevada variabilidade espacial e temporal desses atributos no perfil do solo (LETEY, 1985).

Práticas de manejo do solo, como a escarificação, podem ser adotadas para minimizar o efeito da compactação, diminuindo a densidade e a resistência mecânica do solo à penetração das raízes (COLET et al., 2009), aumentando o espaço de aeração e o volume de água disponível às plantas (CAMARA, 2004). Entretanto, por possuírem sistema radicular denso, o manejo do solo em gramíneas perenes é dificultado, sendo que o uso de escarificador, com a presença de discos de corte na frente das hastes, pode até ser uma prática viável para diminuir a compactação do solo, mas o revolvimento do solo pode diminuir a produção das gramíneas perenes devido à agressão ao sistema radicular (BOMFIM et al., 2003).

Outro aspecto a ser considerado é que as espécies gramíneas forrageiras são exigentes em fertilidade do solo e, quando submetidas à fenação, demandam uma quantidade mais elevada de nutrientes, principalmente o nitrogênio e o potássio. Neste sistema, a exportação de nutrientes é maior do que em gramíneas pastoreadas, nas quais, normalmente, parte dos nutrientes retorna ao solo na forma de dejeções dos animais. Em áreas destinadas a fenação, toda a produção é retirada, implicando em exportação contínua de nutrientes da área. Em relação à reposição dos nutrientes exportados, a adubação orgânica pode ser uma estratégia interessante tendo em vista a liberação gradual dos nutrientes.

No Sudoeste do Paraná, a produção de aves está presente em grande parte das propriedades. A destinação final da cama produzida pelos aviários, em geral, é no solo como fertilizante. Dada à riqueza em nutrientes e matéria orgânica, o uso agrícola de resíduos orgânicos é uma interessante alternativa de disposição, permitindo a reciclagem de nutrientes nos ecossistemas, auxiliando na melhoria das propriedades do solo e no estabelecimento de microrganismos benéficos. O uso da cama de aviário nos solos agricultáveis do Sudoeste do Paraná tem ocorrido em larga escala, porém com pouca base científica, ou seja, em geral os produtores

utilizam as doses que lhes convierem sem acompanhamento do resultado desta prática sobre a fertilidade do solo. A pesquisa estabelece que, a dose de fontes orgânicas de nutrientes deve considerar a recomendação da cultura a partir da análise do solo, da concentração de nutrientes no material e do índice de liberação de cada nutriente para o cultivo a ser instalado (CQFS-RS/SC, 2004). Entretanto, não há informações sobre a eficiência desse material na adubação de pastagens perenes submetidas a cortes sucessivos, como é o caso da fenação.

Nesse contexto, o objetivo do presente trabalho é contribuir para definição da viabilidade da escarificação em áreas de pastagem perene compactada e da eficiência da adubação orgânica com cama de aves quando a pastagem perene é submetida à fenação, suportando a produtividade das culturas e o retorno econômico aos agricultores.

2 OBJETIVOS

Avaliar a produtividade e qualidade da Tifton 85 quando submetida à escarificação do solo e ao uso de cama de aves.

2.1 Objetivos específicos

Avaliar os atributos físicos e químicos de um solo submetido à escarificação e adição de cama de aves.

Avaliar a produção de matéria seca e qualidade bromatológica, nos diferentes cortes da Tifton 85.

Quantificar a exportação de nutrientes pela Tifton 85.

Avaliar a viabilidade da escarificação e do uso da cama de aves, em gramínea perene, submetida a cortes sucessivos.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Produção de forragem para fenação

O processo de fenação tem por objetivo a rápida desidratação da planta, permitindo conservar, ao máximo, seu valor nutritivo. Quanto mais rápido ocorrer a desidratação da planta, mais rápido se detém a respiração, obtendo-se um produto final de melhor qualidade (BONATO, 2004). A fenação ocupa importante papel no manejo das pastagens, permitindo o armazenamento do excedente de forragem produzido em pastagens utilizadas para o pastoreio direto ou da produção de forragem em áreas exclusivas de cultivo para este fim. O armazenamento de volumoso permite a disponibilização do alimento para os animais na época de estacionalidade de produção das forrageiras. Assim, a fenação constitui-se em uma importante ferramenta para manter um fornecimento constante de alimento para os animais (ARAÚJO, 1978; BONATO, 2004; REIS et al., 2005; SEVERIANO et al., 2010). A fenação é muito utilizada nos países de pecuária desenvolvida, onde as reservas de feno são grandemente utilizadas para o forrageamento hibernar ou nos períodos de seca, tanto para o gado leiteiro como para o de corte.

O sistema de produção de feno constitui-se em exploração intensiva, no qual há a necessidade de se utilizar forrageiras de elevada produtividade e qualidade nutricional, bem como, em geral, requer um intenso tráfego de máquinas e implementos sobre o solo para sua produção, colheita e conservação. Como o peso das máquinas e implementos e a intensidade de uso do solo têm aumentado, não sendo acompanhado por aumento proporcional do tamanho e largura dos pneus (REICHERT et al., 2007), acentuam-se os riscos de degradação física dos solos, trazendo reflexos negativos agronomicamente e ambientalmente. A compactação do solo é um dos principais problemas físicos observado em áreas de gramíneas perenes destinadas à produção e conservação de forragem por meio da fenação (GIAROLA et al., 2007), pois o solo não sofre revolvimento e a compactação não é minimizada, como ocorre também no sistema plantio direto de cultivo de grãos (STRECK et al., 2004).

A fenação, ao contrário da ensilagem, é aconselhada para as forrageiras de hastes finas e macias. Para isso são indicadas as espécies forrageiras anuais de inverno, como aveia e azevém, ou perenes de verão que são mais produtivas e fáceis de serem dessecadas com auxílio de fatores meteorológicos como calor (ARAÚJO, 1978). Entre as espécies forrageiras, o gênero *Cynodon* se adequa perfeitamente ao processo de fenação, destacando-se por apresentar elevado potencial de produção de forragem com alta qualidade (VILELA; ALVIM, 1998; BONATO, 2004; LEE; HARRIS; MURPHY, 2010; WOODARD; SOLLENBERGER, 2011), bem como uma morfologia adequada, com hastes finas e uma alta relação folha/colmo (ATHAYDE et al., 2007; LEE; HARRIS; MURPHY, 2010).

Outro fator que tem grande influência sobre a produção e a qualidade nutricional do feno é a disponibilidade de nutrientes no solo, necessitando uma reposição de nutrientes que garanta elevadas produtividades, uma vez que a fenação resulta em grande exportação de nutrientes do solo, pois toda parte aérea da planta é removida da lavoura. Dentre os nutrientes essenciais absorvidos do solo, destacam-se o nitrogênio (N) (WOODARD; SOLLENBERGER, 2011) e o potássio (K), considerados os mais requeridos e que são os que apresentam maior impacto sobre a produção das gramíneas *Cynodon* (BONATO, 2004; VIELMO, 2008).

3.1.1 Características da gramínea Tifton 85

O gênero *Cynodon* foi agrupado em oito espécies, de acordo com sua distribuição geográfica, pelo pesquisador Dr. J.R. Harlan, nas décadas de 1960 e 1970. Entre as espécies, as quatro mais estudadas são: *Cynodon dactylon*, *C. nlemfuensis*, *C. plectostachyus* e *C. aethiopicus*, que se encontram distribuídas por grande parte da região tropical e subtropical da África (PEDREIRA et al., 1998). A identificação das espécies se dá pela presença (grama bermuda) ou ausência (grama estrela) de rizomas subterrâneos (PEDREIRA et al., 1998; SOLLENBERGER, 2008).

O cultivar “Tifton 85” (*Cynodon dactylon* (L) Pers.) é uma forrageira tropical resultante de trabalhos de melhoramento genético realizados nas Universidades da Geórgia e da Flórida, nos Estados Unidos, pelo pesquisador Dr. Glenn Burton,

sendo um híbrido interespecífico resultado do cruzamento entre uma bermuda (*Cynodon dactylon*) do sul da África (PI290884) e “Tifton 68” (*C. nlemfuensis*) (HILL et al., 1993; HILL et al., 1998; VILELA; ALVIM, 1998; BURTON, 2001; SOLLENBERGER, 2008), em que se introduziram genes para resistência ao frio, seca e pisoteio (VIELMO, 2008; LEE; HARRIS; MURPHY, 2010). Esta gramínea caracteriza-se por ter porte mais alto, de coloração verde escura, com hastes grandes e folhas mais largas do que a Coastal, e melhor qualidade nutricional que a Coastal e a Tifton 44 (HILL et al., 1998; LEE; HARRIS; MURPHY, 2010). Entre as espécies de *Cynodon*, é a mais dinâmica, com estolões abundantes que se enraízam com muita agressividade quando em contato com o solo, formando um relvado denso (LEE; HARRIS; MURPHY, 2010), com uma extraordinária distribuição em todos os continentes, exceto na Antártida (VIELMO, 2008). A cultivar foi selecionada devido o seu maior potencial produtivo de forragem em relação às outras bermudas (BURTON, 2001), alta digestibilidade e tolerância ao frio.

A Tifton 85 é uma forrageira do ciclo fotossintético C4 (ATHAYDE et al., 2007; SOLLENBERGER, 2008), que se adapta tanto ao clima frio como ao quente. No entanto, apresenta estacionalidade de produção de forragem bem marcante, cessando quase que por completo o crescimento da parte aérea no período de inverno (GALZERANO, 2008). A Tifton 85 apresenta elevado potencial para produção de forragem com produção de matéria seca variando de 20 a 25 t ha⁻¹ ano⁻¹, dependendo fundamentalmente da adubação nitrogenada e da frequência de cortes (VILELA; ALVIM, 1998). Para avaliar o desempenho da Tifton 85 sob pastejo, Burton (2001), comparou esta com a Tifton 78, até então, seu melhor híbrido. Durante três anos de avaliação, os animais (novilhos) apresentaram maior ganho de peso vivo na Tifton 85, tendo um ganho de 47 e 36%, em relação às áreas com Tifton 78 e Coastal, respectivamente. Em um experimento na Geórgia, compararam-se durante três anos, entre abril e outubro, o Tifton 85 e o Tifton 78 com novilhas em pastejo contínuo, observou-se um ganho de peso vivo (PV) de 30% a mais para as novilhas que ficaram no Tifton 85 (1.156 kg PV ha⁻¹ vs. 827 kg PV ha⁻¹), mostrando a superioridade produtiva do cultivar sobre os capins bermuda mais antigos (CHAMBLISS; DUNAVIN, 2003). Com o intuito de avaliar a diferença na produtividade e na qualidade de forragens, Azar (2007) comparou oito cultivares de *Cynodon*, dos quais se destacaram o Tifton 85 e o Florakirk em termos de produtividade de matéria seca e qualidade de forragem desejável. Avaliando a

composição bromatológica do Tifton 85, Parente et al. (2007) obtiveram teores médios de proteína bruta em 12,8%, fibra em detergente neutro e fibra em detergente ácido em 66,2% e 36,2%, respectivamente.

A capacidade extrativa de nutrientes do solo da Tifton 85 é elevada, sendo que por tonelada de matéria seca produzida por hectare ela extrai em torno de 56 kg de N, 15,7 kg de P_2O_5 e 47 kg de K_2O (LEE; HARRIS; MURPHY, 2010). Vogt et al. (2010) observaram valores de nitrogênio extraído pela Tifton 85 de 101 e 120 kg ha⁻¹, no primeiro e segundo corte respectivamente. Avaliando remoção de N, fósforo (P) e K pela Tifton 85 em função de níveis de resíduo orgânico aplicados, provindos de misturas de águas residuárias da indústria de laticínios com água, Mattos et al. (2008), em um período de avaliação de 112 dias, obtiveram extração média de 416, 43 e 162 kg ha⁻¹ de N, P e K, respectivamente. Os mesmos autores afirmam que a remoção de nutrientes pela Tifton 85 pode atingir valores de até 1.773 kg ha⁻¹ de N, 199 kg ha⁻¹ de P e 665 kg ha⁻¹ de K, considerando um ano de avaliação e cortes sucessivos.

3.2 Manejo do solo na produção de feno

No sudoeste do Paraná, o cultivo de forrageiras para a fenação, principalmente a Tifton 85, está aumentando, uma vez que a demanda por alimento volumoso, principalmente para gado leiteiro, teve um significativo aumento nos últimos anos, devido o incentivo de órgãos governamentais e não governamentais à produção de leite. Na região, o cultivo da Tifton 85 é realizado, geralmente, em solos de textura muito argilosa, com maior suscetibilidade à compactação (GIAROLA et al., 2007). Nesses solos, utilizados para a produção intensiva de forrageiras, são realizadas normalmente cinco passadas de máquinas por corte, considerando a aplicação de N a cada corte, muitas vezes sem controle da umidade do solo por ocasião do tráfego das máquinas. Mesmo empregando-se estratégias de correção e adubação dos solos, é verificada baixa produtividade e perda da qualidade do feno produzido com o passar do tempo de cultivo. Em estudos na região oeste do Paraná, Giarola et al. (2007) confirmam a diminuição da qualidade e produtividade

de forrageiras submetidas a fenação, possivelmente influenciada pela perda da qualidade física do solo.

A produção de feno em grande escala é, essencialmente, um processo mecanizado, exigindo um elevado grau de mecanização o qual só é viável economicamente à medida que a mecanização se torna eficiente. Durante o processo de fenação, algumas operações mecânicas se fazem necessárias e podem reduzir o tempo para o recolhimento da forragem e os riscos de perdas. As operações para a fenação são realizadas por um conjunto de diferentes tipos de implementos agrícolas e podem ser divididas em quatro fases: 1) corte; 2) revolvimento (virada); 3) enleiramento; e, 4) enfardamento (REIS et al., 2005). O tráfego frequente e abrangente de máquinas pesadas, aliado ao não revolvimento do solo, provoca alterações significativas nas propriedades físicas dos solos (STRECK et al., 2004), provocando mudanças especialmente na compactação das camadas subsuperficiais em relação as condições originais. O tráfego de máquinas é um dos fatores primordiais de degradação da estrutura dos solos (MOSADDEGHI et al., 2007; SEVERIANO et al., 2010).

3.2.1 Compactação do solo e seus efeitos

A principal degradação física do solo que prejudica o desenvolvimento das plantas é a compactação do solo, que é caracterizada pela diminuição do espaço poroso do solo quando este é submetido a uma pressão externa (IMHOFF et al., 2000; KRUMMELBEIN et al., 2008; CARVALHO et al., 2010), destruindo os macroagregados (STRECK et al., 2004) e causando um rearranjo mais denso das partículas do solo (FIDALSKI, 2009). Como consequência, ocorre queda na produtividade e longevidade das pastagens (IMHOFF et al., 2000), bem como, aumento dos processos erosivos (KRUMMELBEIN et al., 2008; MAGALHÃES et al., 2009).

Para um bom desenvolvimento das plantas, a compactação do solo em níveis intermediários é benéfica em relação a um solo desagregado, sem condições mínimas para um bom armazenamento de água. Contudo, em níveis elevados, a compactação é extremamente prejudicial às plantas (REICHERT et al., 2007). Em

geral, a compactação provoca um aumento da densidade do solo, redução da porosidade (GIAROLA et al., 2007; HUANG et al., 2007; CARVALHO et al., 2010), principalmente macroporosidade ou porosidade de aeração (REICHERT et al., 2003), diminuição da continuidade de poros (BOTTA et al., 2008), da permeabilidade, da disponibilidade de água e de nutrientes (STRECK et al., 2004) e aumento da resistência do solo à penetração das raízes (SECCO et al., 2009). Em condições de baixa umidade, diminui o crescimento e desenvolvimento radicular (MARTÍNEZ; ZINCK, 2004; LANZANOVA et al., 2007; REICHERT et al., 2007), diminuindo a produção das plantas e aumentando a erosão do solo (SECCO et al., 2004). As alterações físicas, provocadas pela compactação, afetam o fluxo ou a concentração de água, oxigênio, dióxido de carbono, nutrientes e calor, que podem limitar o crescimento e desenvolvimento das plantas e causar problemas ambientais (REICHERT et al., 2003; STRECK et al., 2008).

Avaliando as modificações ocorridas nos atributos físicos de densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade e resistência do solo à penetração, pela compactação induzida por um trator agrícola em área sob plantio direto, Streck et al. (2004) verificaram alterações nos valores determinados para todas as variáveis, exceto a microporosidade, após a aplicação da carga (passagem do trator). Os autores comentam que a resistência do solo à penetração foi a variável que evidenciou de forma mais clara a compactação do solo.

3.2.1.1 Densidade e porosidade do solo

A propriedade física do solo mais estudada e monitorada é a densidade do solo, tendo a maior parte de seus valores proveniente das diferenças no volume total de poros (FERREIRA, 2010). A densidade e porosidade do solo estão muito relacionadas, sendo largamente usadas para determinação da qualidade física do solo, pela facilidade de determinação e por receberem pequena influência do teor de água no momento da coleta de amostras de solo (REICHERT et al., 2003).

A densidade do solo possui estreita relação com outros atributos, sendo que a maioria das pesquisas mostra que, com o seu aumento, ocorre diminuição da porosidade total e da macroporosidade (MARTÍNEZ; ZINCK, 2004; TORMENA et al.,

2004), condutividade hidráulica e absorção iônica (FERREIRA et al., 2010), e ocasiona aumento da microporosidade e da resistência mecânica à penetração do solo (SENRA et al., 2007; SECCO et al., 2009; LIMA et al., 2010), provocando diminuição da produtividade agrícola (FERREIRA et al., 2010), que vai depender do tipo de solo, da umidade (REICHERT et al., 2003) e da espécie cultivada (COLLARES et al., 2008).

Valores críticos de densidade do solo são relacionados a condições restritivas ao crescimento e desenvolvimento do sistema radicular, à infiltração e ao transporte de água e à disponibilização de água às plantas, bem como às trocas gasosas entre solo e atmosfera (FONSECA et al., 2007; FERREIRA et al., 2010), restringindo o desenvolvimento da planta e resultando em menor produção. Com base em trabalhos que avaliaram o intervalo hídrico ótimo (IHO), Reichert et al. (2003) relatam que, levando em conta a classe textural do solo, as densidade críticas quando o IHO é zero variam de 1,25 a 1,30 Mg m⁻³ para solos de textura muito argilosa e de 1,30 a 1,40 Mg m⁻³ para solos de textura argilosa.

A capacidade de aeração do solo é determinada pela macroporosidade, sendo que valores de porosidade menores que 10% podem ser restritivos à produtividade da maioria das plantas (BAVER; GARDNER; GARDNER, 1972; DEXTER, 1988; TORMENA et al., 2004; FERREIRA, 2010), variando com a espécie da planta e com a atividade microbiológica do solo. O aumento da densidade implica em redução da macroporosidade e aumento da microporosidade, afetando a difusão de gases no solo (KRUMMELBEIN et al., 2008) em períodos de maior umidade, indicando sérios riscos às plantas. Os baixos valores de poros com ar também proporcionam elevadas perdas de N por desnitrificação, podendo explicar o amarelecimento de plantas e necessidade frequente de uso de fertilizantes (GIAROLA et al., 2007).

3.2.1.2 Resistência mecânica à penetração

Resistência mecânica à penetração (RP) é um termo utilizado para descrever a resistência física que o solo oferece a algo que tenta se mover através dele, que aumenta com a compactação do solo e com a redução da umidade (PEDROTTI et

al., 2001). Em solos compactados com elevada densidade, o aumento da RP com o secamento do solo deve-se, em parte, à falta de espaço poroso para deslocamento das partículas durante a medida da resistência, em adição ao estresse efetivo, que aumenta a coesão entre as partículas (GIAROLA et al., 2007).

A RP é resultante de forças oriundas da compactação (SECCO, 2003), tendo uma estreita dependência em relação à condição estrutural do solo, expressa pela densidade e conteúdo de água do solo (IMHOFF et al., 2001). Também é dependente da textura do solo, quanto maior o teor de argila, maior a coesão do solo. A RP é influenciada negativamente com o aumento da densidade e positivamente com o aumento do conteúdo de água do solo, para o mesmo teor de água, é tanto maior quanto maior a densidade, mostrando ser um bom indicador da compactação (CUNHA et al., 2002; REICHERT et al., 2003).

A excessiva RP é indesejável, pois além de limitar o crescimento das plantas também esta relacionada à uma maior dificuldade de infiltração de água no solo. De acordo com Pedrotti; Dias Jr. (1996), qualquer alteração significativa que ocorra na estrutura do solo, seja por compactação ou por outro fator, provocará mudanças nas relações solo-ar-água, na resistência mecânica e até mesmo na temperatura do solo. Consequentemente, altera a resposta do solo em termos de comportamento físico ao crescimento das plantas, afetando principalmente o desenvolvimento de raízes.

A avaliação da RP pode ser realizada pelo índice de cone, estimado por um penetrômetro e definido como a resistência do solo à penetração de uma ponta cônica e expressa como a força por unidade de área da base do cone até uma determinada profundidade (CUNHA et al., 2002). Valores muito elevados de RP podem influenciar o crescimento das raízes em comprimento e diâmetro, dificultando a absorção de água e nutrientes, afetando diretamente o crescimento da parte aérea das plantas, diminuindo a produtividade. Valores críticos de RP vão depender da espécie cultivada e do tipo de solo (MEROTTO; MUNDSTOCK, 1999).

Na literatura encontra-se que, quando a RP do solo é igual ou maior do que 2 MPa, o desenvolvimento radicular é reduzido, apesar de ser relacionado à condição estrutural do solo (REICHERT et al., 2003). Em geral, valores de resistência do solo à penetração considerados críticos ao crescimento radicular variam de 2 a 3 MPa. Toigo et al. (2007) avaliaram o solo de lavouras sob plantio direto no município Flor da Serra do Sul, encontrando solos com resistência à penetração superior a 2 MPa,

valor considerado crítico para o crescimento de raízes. Nas áreas de integração lavoura-pecuária, o quadro era mais grave, observando-se valores de até 5 MPa nos primeiros 0,10 m de profundidade. Em solo cultivado em longo prazo sob plantio direto, Tormena et al. (2004) definiram o valor de 3,5 MPa como crítico, justificado pela presença de bioporos contínuos e efetivos no solo sob plantio direto que compensariam os eventuais prejuízos da maior RP. Secco et al. (2009) constataram diminuição de 18,3% na produtividade de trigo em um Latossolo Vermelho distrófico com RP de 1,77 à 2,65 MPa; já para Latossolo Vermelho distroférico a diminuição da produtividade de trigo foi de 34% com RP de 2,95 à 3,26 MPa. Avaliando a RP em um Argissolo Vermelho arênico, Lima et al. (2010) obtiveram valores críticos de aproximadamente 1,7 e 1,9 MPa para o crescimento e produtividade de grãos de feijão e de soja, respectivamente. A umidade do solo no momento em que são efetuadas as medidas de RP influencia o resultado, sendo que o secamento do solo, em conjunto com a elevação da densidade, provoca um aumento acentuado na resistência mecânica do solo, dificultando o desenvolvimento das raízes.

A compactação do solo decorrente do tráfego de máquinas e pelo pisoteio animal é um dos grandes problemas para obtenção de elevadas produtividades das pastagens (LIMA et al., 2004), principalmente por aumentar a suscetibilidade à erosão hídrica (SANTOS et al., 2009). Para gramíneas, o valor crítico de RP é em torno de 2,5 MPa (IMHOFF et al., 2000). Áreas utilizadas com forrageiras destinadas à fenação, em geral, possuem grande resistência mecânica à penetração e impedimentos físico-químicos elevados. Giarola et al. (2007), avaliando a RP em um Latossolo Vermelho com Tifton 85 destinada a fenação, obtiveram valores de RP maiores que 2,5 MPa, demonstrando grandes restrições para um bom desenvolvimento do sistema radicular das plantas mesmo com umidade do solo elevada. Os mesmos autores, avaliando a RP com umidade de capacidade de campo, obtiveram valor médio de 5,8 MPa na profundidade de 0,0 – 0,08 m, muito acima do valor crítico, indicando que o solo não possuía qualidade física que permitisse manter elevada produção de biomassa, tanto do sistema radicular quanto da parte aérea da forrageira. Estes resultados mostram que a degradação física do solo pode ser um fator responsável pelos problemas de desenvolvimento e produção da Tifton 85 (GIAROLA et al., 2007; SEVERIANO et al., 2010).

3.2.2 A escarificação para descompactação do solo

Escarificar significa romper o solo a uma determinada profundidade, com o uso de implementos chamados de escarificadores, tendo-se uma mínima mobilização superficial (MACHADO et al., 1996). Os escarificadores são implementos de hastes utilizados no preparo primário do solo, apresentam alta capacidade operacional e pouca alteração da estrutura do solo. São utilizados para romper camadas compactadas do solo, facilitando a penetração das raízes e a infiltração da água no solo (SILVEIRA, 1988).

A operação de descompactação reduz a densidade do solo aumentando a porosidade, ao mesmo tempo em que rompe as camadas superficiais encrostadas e camadas subsuperficiais compactadas, facilitando o desenvolvimento radicular das plantas (CAMARA; KLEIN, 2005a). O solo descompactado eleva a taxa de infiltração e a capacidade de armazenamento de água, aumenta a permeabilidade do solo e reduz a resistência mecânica do solo à penetração das raízes (COLET et al., 2009), facilita o fluxo da água no perfil e as trocas gasosas com a atmosfera (CAMARA, 2004). Entretanto, o revolvimento do solo pode causar danos ao sistema radicular, prejudicando especialmente a produtividade de plantas perenes. O revolvimento também deixa o solo com a superfície desuniforme, prejudicando os processos de fenação, principalmente o corte subsequente à escarificação.

Avaliando o efeito da escarificação em área com plantio direto, Camara; Klein (2005b) obtiveram efeitos positivos com o uso da escarificação para aliviar a compactação do solo, sendo que reduziu a densidade do solo, aumentou a taxa de infiltração de água e melhorou a condutividade hidráulica do solo saturado. A escarificação também diminuiu a resistência mecânica do solo à penetração e não afetou o teor de matéria orgânica do solo (CAMARA; KLEIN, 2005a). Assim, demonstra ser uma técnica eficaz para melhorar a conservação do solo e da água, apresentando efeito residual transcorrido um ano da operação (CAMARA; KLEIN, 2005b). Secco; Reinert (1997) obtiveram resultados semelhantes, sendo que o efeito residual da escarificação em um Latossolo de textura muito argilosa foi observado por pelo menos 10 meses.

O efeito da escarificação mecânica em um Latossolo de textura muito argilosa também foi testado por Nicoloso et al. (2008), os quais observaram que em época

de elevada precipitação o efeito da escarificação foi temporário, não constando melhoria nas condições físicas do solo nove meses após a operação. Secco et al. (2009), avaliando o efeito da escarificação na produtividade de grãos, obtiveram aumento significativo no rendimento da cultura do milho e do trigo na área escarificada. Em Latossolo Vermelho distroférico, Araújo et al. (2004) avaliaram o efeito de alterações na qualidade física do solo provocadas pela escarificação após 13 anos de semeadura direta. Os autores concluíram que o uso de escarificação promove efeito benéfico na profundidade de 0,0 - 0,15 m, aumentando principalmente a macroporosidade. Silva (2003) concluiu que a escarificação é uma prática agrícola que pode ser utilizada para diminuir o estado de compactação em lavouras sob plantio direto, ocasionando incremento de rendimento de grão na cultura do milho. A maioria dos relatos encontrados na literatura para uso de escarificação são com culturas anuais, sendo que poucos estudos avaliam seu uso em pastagens perenes já consolidadas.

Estudando a viabilidade econômica da renovação de pastagens, Yokoyama et al. (1999) justificam a mobilização do solo para o rompimento de camadas compactadas. Avaliando a recuperação de pastagem degradada de *Brachiaria decumbens* com o uso de arado e escarificador de disco, Bomfim et al. (2003) observaram que os tratamentos físicos nos primeiros cortes influenciaram negativamente o crescimento da gramínea. O revolvimento do solo em gramíneas perenes é dificultado devido ao seu denso sistema radicular, podendo ser encontrado presença de raízes a mais de 0,60 m de profundidade, sendo que o uso de implementos para revolvimento do solo pode também danificar as raízes, implicando em diminuição da produtividade ou ausência de resposta a este tratamento. Muitas espécies de gramíneas perenes possuem um sistema radicular agressivo, uma vez que atingem boa profundidade, e, dependendo do solo e das condições climáticas, a compactação de camadas superficiais pode não influenciar na produtividade, dispensando a necessidade de intervenção mecânica para descompactação.

Baseado nessas considerações se justificam trabalhos que avaliam os efeitos da escarificação do solo em áreas de produção de forrageiras perenes para fenação, como forma de proporcionar subsídios aos técnicos e produtores nas recomendações de manejo do solo neste tipo de produção.

3.3 Manejo da adubação da Tifton 85 para fenação

O crescimento, o desenvolvimento e a composição bromatológica de gramíneas são afetados por aspectos fisiológicos da planta e condições ambientais como temperatura, umidade e fotoperíodo, pela fertilidade do solo e manejo adotado. Assim, a produção de matéria seca vai depender da interação entre estes fatores (REIS et al., 2005). Quando as gramíneas de alta exigência em fertilidade são destinadas à fenação, a reposição de nutrientes deve ser maior do que para as pastoreadas, pois neste sistema toda a produção é retirada implicando em exportação contínua de nutrientes da área, não havendo a ciclagem de nutrientes que ocorre nas pastoreadas onde boa parte dos nutrientes retorna ao solo através da urina e fezes dos animais (HADDAD; CASTRO, 2000).

O nitrogênio é um nutriente essencial para as plantas, presente na constituição de todas as proteínas, ácidos nucleicos e de metabólitos intermediários envolvidos na síntese e transferência de energia (REIS et al., 2005). As principais reações bioquímicas em plantas e microrganismos envolvem a presença do N, o que o torna um dos elementos absorvidos em maiores quantidades por plantas cultivadas (CANTARELLA, 2007). O N estimula o crescimento das plantas e aumenta o teor de proteína bruta da forragem. Com boa umidade, as gramíneas do gênero *Cynodon* respondem a altos níveis de fertilizante nitrogenado. A recomendação de adubação de manutenção para gramíneas perenes de estação quente, segundo o Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFS-RS/SC, 2004) é de 100 kg N ha⁻¹ para solo com teor de matéria orgânica acima de 5% e expectativa de rendimento de 12 t ha⁻¹; acrescentando-se 30 kg de N ha⁻¹ por tonelada adicional de matéria seca a ser produzida. Com uma expectativa de produção de 25 t ha⁻¹ de matéria seca de Tifton 85, dever-se-ia aplicar um total 490 kg N ha⁻¹, sendo que, parcelando este N e considerando quatro cortes, aplica-se 122 kg N ha⁻¹ a cada corte.

O potássio é o segundo nutriente mais requerido pela gramínea, sendo essencial para altos rendimentos e para manter a qualidade e sanidade das plantas. O K não participa de combinações orgânicas na planta; é um elemento ativo na planta, porém, em forma livre (KIEHL, 1985). Exerce função regulatória, participando como ativador de enzimas, contribuindo na manutenção do potencial osmótico,

abrindo ou fechando os estômatos e, conseqüentemente, plantas deficientes nesse elemento são mais susceptíveis ao estresse hídrico (REIS et al., 2005; ERNANI; ALMEIDA; SANTOS, 2007). Para o gênero *Cynodon*, a deficiência de potássio pode facilitar o surgimento de manchas nas folhas, principalmente pelo ataque de fungos, favorecendo a redução na qualidade do feno produzido (REIS et al., 2005). Os níveis a serem aplicados variam de acordo com os níveis de K no solo e, segundo a CQFS-RS/SC (2004), para solos com teor alto de K, a recomendação é de 60 kg de K_2O ha^{-1} para rendimento de 12 t ha^{-1} sendo que, quando é para feno recomenda-se aumentar em 50% os níveis iniciais (+ 30 kg de K_2O); e, por tonelada adicional produzida de matéria seca, deve-se acrescentar 20 kg de K_2O ha^{-1} . Na expectativa de se atingir uma produção de 25 t ha^{-1} de matéria seca de Tifton 85, dever-se-ia aplicar 350 kg de K_2O ha^{-1} apenas para manutenção dos teores no solo.

O fósforo também é essencial para as plantas terem altas produtividades. Participando no armazenamento e transferência de energia, atua na fotossíntese e respiração, é constituinte dos ácidos nucleicos e dos fosfolipídios. Também é essencial para a divisão celular, estando envolvido no crescimento radicular. A adequada adubação fosfatada promove o aumento na produção de massa, tanto da parte aérea como de raiz, no número de perfilho e no teor de proteína bruta da parte aérea (REIS et al., 2005). Os níveis a serem aplicados variam de acordo com os níveis de P no solo e a recomendação, segundo a CQFS-RS/SC (2004), para solos com teor alto de fósforo, é de 60 kg de P_2O_5 ha^{-1} para rendimento de 12 t ha^{-1} , sendo que, quando é para feno, recomenda-se aumentar em 50% os níveis iniciais (+ 30 kg de P_2O_5); e se deve acrescentar 10 kg de P_2O_5 ha^{-1} por tonelada adicional produzida de matéria seca. Na expectativa de uma produção de 25 t ha^{-1} de matéria seca de Tifton 85, dever-se-ia aplicar 220 kg de P_2O_5 ha^{-1} apenas para manutenção dos teores no solo.

3.3.1 Cama de aves na adubação de pastagens

O aumento da produção de aves no Brasil tem levado a uma grande geração de resíduos orgânicos e a necessidade de utilização racional desses resíduos tem relação de grande importância com o meio rural e o mercado mundial. As vantagens

relacionadas com o uso de resíduos orgânicos na agricultura estão na redução de custos na produção, quando o resíduo é de fácil acesso; uso em substituição aos adubos minerais (WOODARD; SOLLENBERGER, 2011); cumprimento da legislação ambiental; implantação de um sistema sustentável; e redução de uso das reservas finitas de adubos e de energia não renovável (LANA et al., 2010). Com o constante aumento da busca por alimentos oriundos da pecuária sustentável, a utilização de adubos oriundos da própria propriedade ou da região na produção de forragem se torna importante (BERTE et al., 2010). A utilização de resíduos orgânicos em pastagens pode contribuir para uma forragem nutricionalmente mais completa, uma vez que todos os nutrientes exigidos pela planta podem ser encontrados no material orgânico (KIEHL, 1985) e alguns nutrientes nem sempre serão repostos com a adubação utilizando-se exclusivamente fontes industriais de N, P e K.

No sudoeste do Paraná, o mercado de aves teve um considerável crescimento, gerando grande produção de cama de frango, que necessita de uma destinação ambientalmente correta dos seus resíduos. O descarte mais comum para a cama de aves é como fertilizante no solo, que pode propiciar a poluição do ambiente se não houver critérios adequados e monitoramento para o uso (LANA et al., 2010; SEGANFREDO, 2011), uma vez que os resíduos orgânicos apresentam vários nutrientes que se encontram em quantidades desproporcionais em relação à necessidade das plantas. Os riscos ambientais irão depender da composição do resíduo, da quantidade aplicada, da capacidade de extração da planta, do tipo de solo e do tempo de utilização dos resíduos (SEGANFREDO, 1999; SEGANFREDO, 2011).

Embora a cama de aves seja uma fonte de nutrientes, sua disposição no solo também pode atuar como condicionador dos atributos físicos (ANDREOLA et al., 2000; COSTA et al., 2009) e químicos do solo (MELLO; VITTI, 2002; KONZEN, 2003; KONZEN; ALVARENGA, 2005). Alguns efeitos físicos no solo conhecidos: a matéria orgânica influencia na agregação e estruturação do solo permitindo maior agregação aos solos arenosos, e reduzindo a coesão nos solos argilosos; aumenta a capacidade de infiltração e retenção de água; aumenta a porosidade e uniformiza a temperatura (KIEHL, 1985). Nesse aspecto, a adição de cama de aves poderia também contribuir para ampliar os efeitos físicos da descompactação do solo através da escarificação. Avaliando a adubação orgânica com resíduos de aves nas propriedades físicas do solo, Andreola et al. (2000) observaram aumento na

macroporosidade e diminuição na densidade do solo, para uma Terra Roxa Estruturada, com o uso do adubo orgânico. Alguns efeitos químicos também são esperados no solo adubado com cama de aves, como o aumento da capacidade de troca catiônica, formação de quelatos, aumento do poder tampão e diminuição da fixação de fósforo no solo.

Avaliando o uso de cama de aves em pastagem de *Brachiaria decumbens*, Silva (2005) observou aumento na produção e nos teores de proteína bruta, fósforo, potássio e micronutrientes na planta com a aplicação de 1.200 a 4.800 kg ha⁻¹. O autor também observou que a dose 4.800 kg ha⁻¹ de cama de aves forneceu nutrientes para a forrageira, de forma similar à adubação mineral, nos primeiros três cortes, e superior no quarto corte, demonstrando a vantagem do maior poder residual da fonte orgânica. Assis (2007), avaliando o uso de cama de aves na recuperação de pastagens de *Brachiaria decumbens*, observou que a aplicação dos resíduos influenciou a produtividade apenas no segundo corte da forragem sendo expressiva nos tratamentos com maiores doses (9.375 e 12.500 kg ha⁻¹ de cama de aves). A recuperação da pastagem se deu em função, principalmente, dos teores de fósforo e potássio adicionados.

Antes de sua disposição no solo, os adubos orgânicos devem, sempre que possível, ser analisados previamente, pois a concentração dos nutrientes presentes pode variar muito. Os adubos orgânicos também apresentam taxas de liberação de nutrientes no solo muito variável, afetando a disponibilidade para as plantas. Resíduos de aves apresentam altos teores de fibras e lignina, maior relação C/N e menores quantidades de nutrientes da forma mineral, assim a liberação de nutrientes é mais lenta, pois a decomposição é mais demorada. Isto pode ser uma vantagem do uso do adubo orgânico em relação a fontes minerais em áreas de culturas perenes, principalmente pela liberação mais lenta do N, tendo efeito residual para os cortes subsequentes da forragem. Também, deve-se considerar que a fração mineral dos esterco e os elementos mineralizados no solo têm o mesmo efeito que os nutrientes contidos em fertilizantes minerais solúveis e estão sujeitos às mesmas reações químicas dos íons já presentes no solo, tais como insolubilização de fósforo, lixiviação de nitrato, volatilização de amônia, nitrificação, imobilização microbiana, etc.

Baseado nessas considerações se justificam trabalhos que avaliam os efeitos da adubação orgânica em conjunto com a escarificação do solo em áreas de

produção de forrageiras perenes para fenação, como forma de proporcionar subsídios aos técnicos e produtores nas recomendações de adubação neste tipo de produção.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Localização da área experimental

O experimento foi conduzido em uma propriedade rural particular, no município de Chopinzinho, no sudoeste do estado do Paraná, Brasil, tendo como coordenadas: 25° 54' 53" latitude Sul e 52° 32' 28" longitude Oeste, com altitude de 700 m. Segundo o mapa de solos do Estado do Paraná (BHERING; SANTOS, 2008), a área de estudo pertence à unidade de mapeamento NVdf – Nitossolo Vermelho distroférico. O clima da região é Cfa (subtropical, úmido), segundo classificação de Koppen.

4.2 Histórico da área

A gramínea Tifton 85 foi plantada na área no ano de 2000, sendo que em 2001 começou a ser utilizada para produção de feno. A área é utilizada intensivamente, sendo feitos de três a quatro cortes na Tifton 85 por ano, dependendo das condições climáticas.

A adubação de manutenção feita na área anualmente é a aplicação de 14 sacas ha^{-1} da formulação 8-20-20 (60 kg N, 140 kg P_2O_5 e 140 kg de K_2O) parcelada em duas aplicações nos meses de outubro e fevereiro. Também é feita a adubação complementar de nitrogênio com quatro sacas de ureia ha^{-1} (90 kg de N), após cada corte da Tifton 85. Em maio de 2010, foram aplicados na área três sacas ha^{-1} de fosfato natural de Arad (49,5 kg P_2O_5 ha^{-1}).

A fim de verificar as características químicas (Tabela 1) e físicas (Tabela 2) da área, foi realizada uma coleta de solo em setembro de 2011. Verificaram-se altos níveis de nutrientes (Tabela 1) no solo até a profundidade de 0,10 m, e com base nesses resultados foi feita a recomendação de adubação com expectativa de produção de 25 t ha^{-1} de Tifton 85.

Tabela 1 – Atributos químicos do solo antes da instalação do experimento, Chopinzinho, PR, setembro de 2011.

Profundidade m	pH CaCl ₂	MO g dm ⁻³	Al ³⁺ ----- cmol _c dm ⁻³ -----	H+Al cmol _c dm ⁻³	Ca ----- cmol _c dm ⁻³ -----	Mg ----- cmol _c dm ⁻³ -----	K ---- mg dm ⁻³ ----	P ---- mg dm ⁻³ ----	V %
0,00 - 0,05	5,58	64,83	0,14	4,62	10,95	2,71	184,26	46,21	75,21
0,05 - 0,10	5,53	53,95	0,10	4,34	8,92	2,57	140,27	11,33	73,12
0,10 - 0,15	5,44	45,74	0,09	4,54	7,91	2,96	119,26	5,87	70,98
0,15 - 0,20	5,36	40,04	0,11	4,63	6,48	3,07	97,75	3,26	67,85
0,20 - 0,25	5,38	28,31	0,12	4,38	5,26	2,85	81,13	3,09	65,20
0,25 - 0,40	5,21	21,61	0,15	4,42	4,88	2,69	80,16	2,47	63,40

Com a avaliação das condições físicas do solo, observou-se maior adensamento do solo nas profundidades de 0,05 a 0,25 m. Juntamente com os valores de resistência do solo à penetração (Figura 1), estes resultados contribuíram para a determinação da profundidade de trabalho das hastes do escarificador, que foi de 0,25 m.

Tabela 2 – Atributos físicos do solo antes da instalação do experimento, Chopinzinho, PR, setembro de 2011.

Profundidade m	Ds Mg m ⁻³	PT ----- % -----	MaP ----- % -----	MiP ----- % -----	Ks mm h ⁻¹	Argila ----- % -----	Silte ----- % -----	Areia ----- % -----
0,00 - 0,05	1,05	68,87	18,03	50,84	310,86	71,5	25,4	3,11
0,05 - 0,10	1,21	62,65	9,86	52,79	68,67	72,7	24,7	2,57
0,10 - 0,15	1,23	61,11	11,34	49,77	44,11	73,2	24,7	2,08
0,15 - 0,20	1,21	62,65	10,66	51,99	43,83	75,9	22,1	1,95
0,20 - 0,25	1,21	63,23	9,83	53,40	34,80	77,8	20,4	1,83
0,25 - 0,30	1,17	63,23	11,77	51,46	18,14	79,5	19,3	1,25

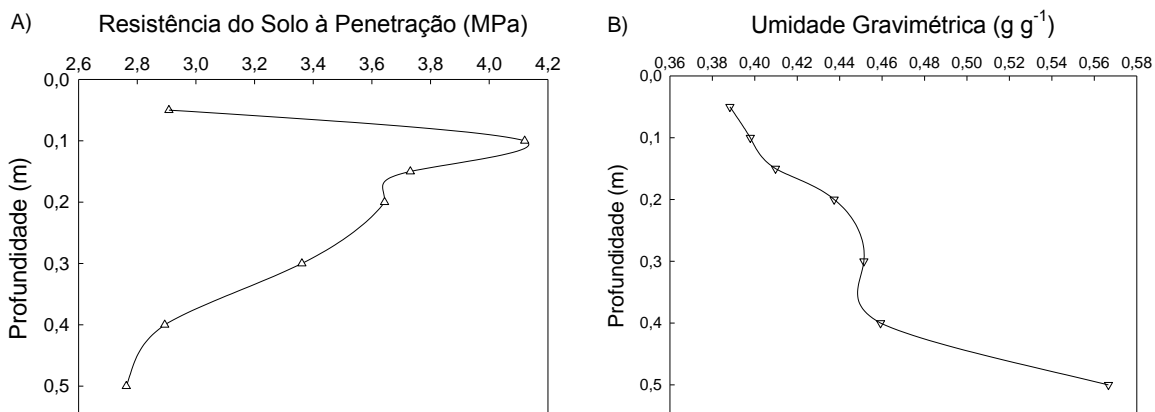


Figura 1 – Resistência do solo à penetração (A) e umidade gravimétrica (B), antes da instalação do experimento, Chopinzinho, PR, setembro de 2011.

4.2.1 Precipitação pluviométrica

As medições de precipitação pluvial (Figura 2) durante o período experimental foram realizadas com a instalação de um pluviômetro no local do experimento.

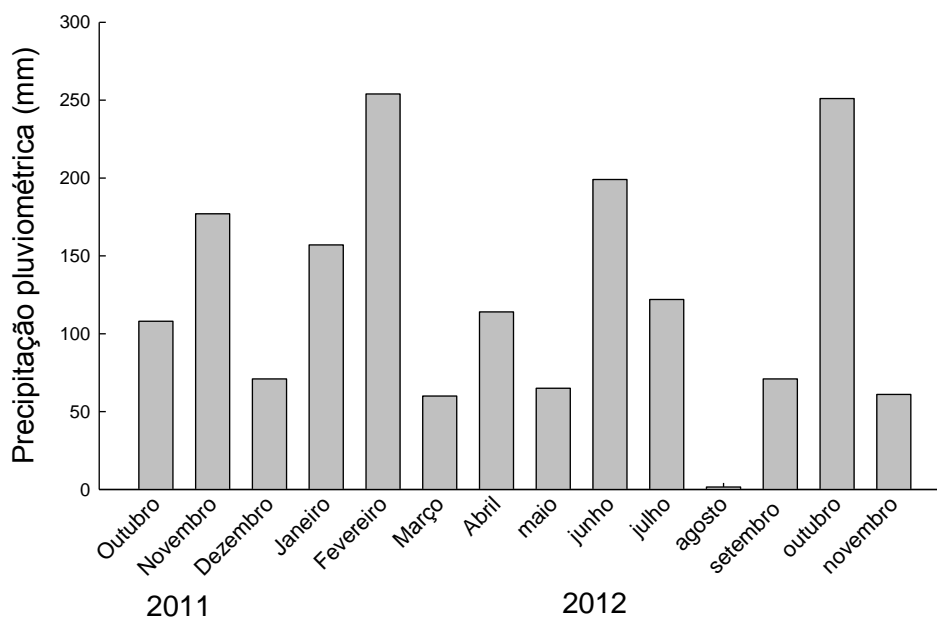


Figura 2 – Precipitação pluviométrica no período experimental, de outubro de 2011 a novembro de 2012.

4.3 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, com parcelas subdivididas, em esquema fatorial 2x6 (manejo do solo x adubação) (Figura 3) e quatro repetições. O tamanho de cada subparcela foi de 12 m² (3 x 4 m). O fator manejo do solo foi alocado na parcela principal, tendo como tratamentos: solo escarificado e solo não escarificado; tratamento realizado uma única vez no início do experimento (21/10/2011). O fator adubação foi alocado nas subparcelas, tendo como tratamentos: a) aplicação de cama de aves na primavera, com reaplicação de N mineral nos cortes (AO+N); b) aplicação de cama de aves na primavera sem reaplicação de N (AO); c) adubação mineral NPK na primavera, com reaplicação de N mineral nos cortes (AM+N); d) adubação mineral NPK na primavera sem reaplicação de N (AM); e) sem adubação, com aplicação de N nos cortes (T+N); f) sem adubação e sem aplicação de N (T).



Figura 3 – Vista do experimento antes da adubação e logo após a realização da escarificação do solo, Chopinzinho, PR, outubro de 2011.

A descompactação do solo foi realizada com um escarificador de arrasto com rolo destorreador (Figura 4), que auxilia para o nivelamento do solo, com sete hastes de formato parabólico e 0,07 m de largura cada, distanciadas a 0,40 m, e profundidade média de trabalho de 0,25 m.



Figura 4 – Escarificador utilizado para o manejo do solo.

Os nutrientes foram aplicados (Tabela 3) com base na recomendação de adubação para Tifton 85 (CQFS-RS/SC, 2004), com expectativa de produção de 25 toneladas de matéria seca por $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$.

Tabela 3 – Teores de nutrientes aplicados.

	Fertilizante kg ha^{-1}	Nutrientes (kg ha^{-1})		
		N	P_2O_5	K_2O
Uréia	283	127		
Super fosfato simples	1.220		220	
Cloreto de potássio	730			350
Cama de aves*	6.700	103 (51,5)**	276 (220)	342 (342)

*75% de matéria seca no material. **considerando índices de liberação de 0,5, 0,8 e 1,0 para o N, P e K, respectivamente.

A cama de aves utilizada foi oriunda de frangos para corte, contendo resíduo de oito lotes. O resíduo ficou 40 dias em processo de estabilização para depois ser adicionado ao solo. Para recomendação da dose de cama de aves foi realizada a

análise previa do material (2,05% de N, 5,5% de P_2O_5 e 6,8% de K_2O) e a partir do teor de P_2O_5 presente no adubo orgânico, estabelecida a dose, para atingir a recomendação de 220 kg P_2O_5 ha^{-1} . Para os cálculos de recomendação de adubação orgânica, foram utilizados os índices de eficiência dos nutrientes no solo (CQFS-RS/SC, 2004), sendo que para a cama de frango de corte, que foi a utilizada no trabalho, os índices são de 0,5, 0,8 e 1,0 para o N, P e K respectivamente.

Os tratamentos com reaplicação de N receberam 127,5 kg ha^{-1} do nutriente a cada corte da gramínea, na forma de ureia. A adubação foi realizada antes da escarificação, apenas o N foi aplicado após a operação de revolvimento do solo.

4.4 Cortes e avaliações da Tifton 85

Ao longo do período experimental, foram realizados quatro cortes da Tifton 85, sendo efetuados em 20 de dezembro de 2011, 31 de janeiro, 03 de março e 30 de abril de 2012, tendo como critério para o corte a altura das plantas (Figura 5). Quando as plantas de um tratamento atingiram uma altura média de 0,45 m foi feito o corte a 0,07 m acima da superfície do solo. A altura da pastagem foi medida periodicamente com régua de 0,5 m de comprimento, fazendo-se cinco medidas para obter a média da altura das plantas em cada tratamento. Todos os tratamentos foram cortados simultaneamente, com a finalidade de ter as mesmas condições para a reaplicação do N.

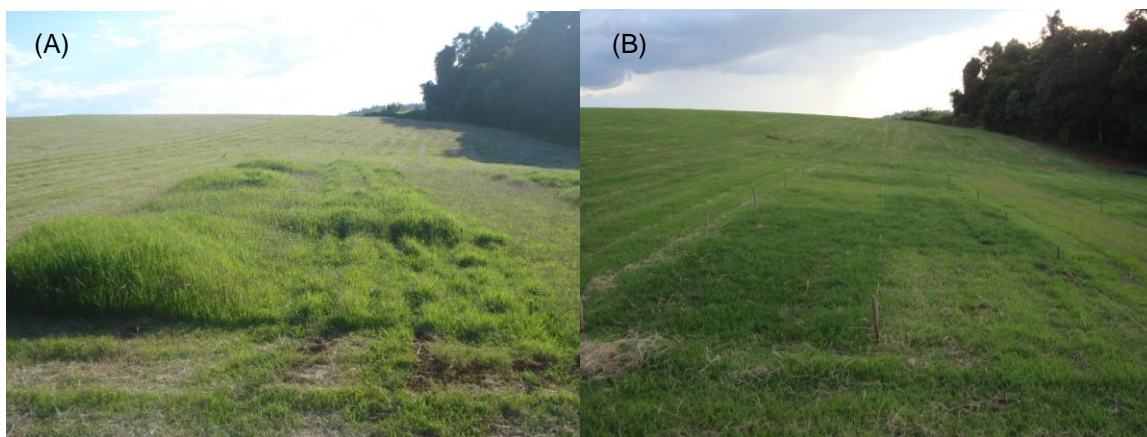


Figura 5 – Vista do experimento em 20 de dezembro de 2011(A) e 17 de fevereiro de 2012 (B).

A execução dos cortes foi realizada com o auxílio de uma estrutura metálica, com área equivalente a 0,25 m². Em cada subparcela foram amostrados aleatoriamente dois locais para o corte (Figura 6), sendo de 0,5 m² a área total cortada em cada subparcela. O material cortado foi para estufa, permanecendo a 60° C até atingir peso constante. Após seco, o material foi pesado para obtenção da matéria seca total e uma porção foi moída em moinho de faca tipo Willey para análise foliar e bromatológica. Após a amostragem, o restante das plantas foi cortado e enfardado, tendo-se a entrada normal das máquinas para todas as etapas da fenação.



Figura 6 – Área de Tifton 85 cortada para amostragem de produtividade.

Na Tabela 4 encontram-se a descrição dos implementos utilizados para o processo de fenação e suas respectivas larguras de trabalho. A área trafegada por hectare foi calculada levando em consideração a largura de trabalho dos implementos e a largura dos pneus traseiros do trator (0,43 m cada).

Tabela 4 – Descrição dos implementos utilizados para fenação e área trafegada para cada etapa do processo.

Descrição	Largura de trabalho	Área trafegada ha ⁻¹
Segadeira de tambores SN165	1,65 m	5211,6 m ²
Ancinho esparamador Haybob 300	3 m	2866,6 m ²
Ancinho enleirador Haybob 300	3 m	2866,6 m ²
Enfardadeira Express 4030	1,50 m	5733,3 m ²

4.4.1 Rendimento de matéria seca

O cálculo do rendimento de matéria seca por hectare foi realizado nos quatro cortes, sendo obtido a partir da produtividade da área avaliada 0,5 m². O rendimento acumulado de matéria seca durante o período experimental foi obtido pelo somatório dos quatro cortes.

4.4.2 Exportação de nutrientes

A exportação de nutrientes foi calculada a partir da quantidade de matéria seca e dos resultados das análises foliares, que foram realizadas para cada corte da Tifton 85. Foram avaliados os teores de N, P, K, Ca e Mg na planta, seguindo a metodologia proposta por Tedesco et al. (1995).

4.4.3 Proteína bruta e fibra em detergente neutro

A determinação do percentual de proteína bruta foi obtida pela multiplicação da porcentagem de N na planta pelo fator de conversão 6,25, baseado no fato das proteínas terem porcentagem de N quase constante (em torno de 16%) (VIELMO, 2008). Os teores de fibra em detergente neutro (FDN) foram mensurados usando o método de Goering e Van Soest (1970), no qual 0,3 g do resíduo moído, juntamente com 30 ml de solução detergente neutra, em tubos de digestão, foram acondicionados em bloco digestor a 140° C por 60 minutos, obtendo-se a FDN através da fervura. Posteriormente, por sucção a vácuo, foi realizada filtragem e lavagem das amostras em cadinhos filtrantes de 50 ml, com porosidade n°2, previamente pesados (Figura 7). A lavagem das amostras foi feita três vezes com água destilada quente (90°C) e duas vezes com acetona analítica (30-40 ml). Os cadinhos com a FDN foram secos em estufa a 105°C durante oito horas, acondicionados em dessecador até temperatura ambiente e pesados. O conteúdo

de FDN, expresso como livre de cinzas, foi calculado pela diferença de peso antes e após a fervura.

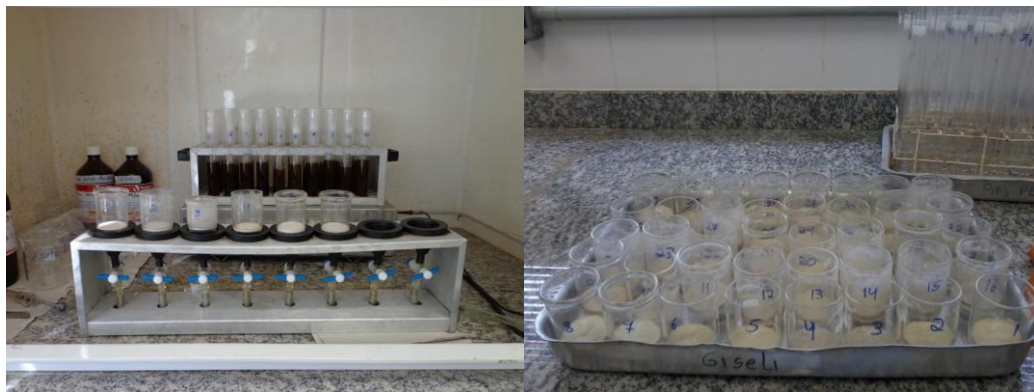


Figura 7 – Cadinhos filtrantes para determinação do teor de fibra em detergente neutro.

4.5 Amostragem do solo

A amostragem para determinação das propriedades físicas do solo foi realizada com auxílio de anéis metálicos (0,065 m de diâmetro e 0,03 m de altura) (Figura 8), coletando-se amostras indeformadas de solo em três profundidades: 0,03-0,08; 0,10-0,15 e 0,20-0,25 m, sendo duas repetições por profundidade. No manejo do solo escarificado realizou-se coleta de dois anéis na linha da haste do escarificador e dois anéis na entre linha escarificada, em cada profundidade. Nos tratamentos com escarificação foram coletados doze anéis por parcela e nos tratamentos sem escarificação seis anéis por parcela, totalizando 432 amostras em cada avaliação. A primeira avaliação foi realizada 80 dias, e a segunda 270 dias após a implantação do experimento, considerando que a primeira coleta foi após o primeiro corte, e a segunda após os quatro cortes.



Figura 8 – Disposição dos anéis metálicos para coleta de solo.

Para determinação das propriedades químicas do solo, a amostragem de solo foi realizada em trincheiras, uma por parcelas, coletando-se três subamostras de solo nas laterais da trincheira, para compor uma amostra. O solo foi coletado nas profundidades de 0,00-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, 270 dias após a instalação do experimento. No laboratório o solo foi seco em estufa com circulação de ar a 40°C, moído e peneirado em malha de dois mm, para posteriores análises.

4.5.1 Determinação das características físicas do solo

4.5.1.1 Densidade e porosidade do solo

Os anéis com amostra de solo foram colocados para saturar por capilaridade, durante 48 horas, em recipiente com água. Em seguida, foi realizada a determinação da condutividade hidráulica saturada e, posteriormente, as amostras foram pesadas e levadas à mesa de tensão, onde permaneceram cerca de 72 horas, a uma tensão de sucção de seis kPa (tensão para drenar a água presente nos macroporos), a fim de estabelecer equilíbrio entre a água retida na amostra e a tensão aplicada. Posteriormente, as amostras foram retiradas da mesa de tensão, pesadas e encaminhadas para estufa, onde permaneceram a 105°C até atingirem peso constante. Após secas, as amostras foram pesadas novamente (EMBRAPA, 1997).

A densidade do solo foi determinada pela razão entre massa de solo seco e volume total do solo. A porosidade total do solo foi obtida pelo método da saturação, a partir da diferença entre a massa saturada do solo e a massa de solo seco em estufa a 105°C. Os microporos do solo foram determinados a partir da diferença entre massa de solo à tensão de seis kPa e a massa de solo seco, dividido pelo volume total ocupado pelo solo. Os macroporos do solo foram determinados a partir da diferença entre porosidade total e microporos.

4.5.1.2 Condutividade hidráulica em solo saturado

A determinação da condutividade hidráulica saturada foi realizada utilizando-se um permeâmetro de carga constante, no qual foram colocadas as amostras de solo saturadas, nas quais se havia acoplado, na parte superior do anel com a amostra, um segundo anel (EMBRAPA, 1997). Foi adicionado água no anel superior e aguardado até o fluxo de água, através do solo, ser constante para iniciar as coletas da água em becker, anotando o volume coletado em cinco minutos, sendo realizadas três leituras para cada amostra. O cálculo foi realizado com a fórmula a seguir:

$$K = \frac{V \cdot L}{A \cdot H \cdot t} \quad (\text{cm s}^{-1})$$

Onde: V = volume percolado (média das três coletas em cm³)

L = altura da amostra do solo (cm)

A = área da seção transversal do anel (cm²)

H = carga hidráulica (cm)

t = tempo usado para a coleta do volume de água (s)

4.5.1.3 Resistência mecânica à penetração

A resistência mecânica à penetração do solo foi medida utilizando-se um penetrógrafo eletrônico, com ponta (cone) de 1 cm² de área, até 0,4 m de

profundidade. Nos tratamentos não escarificado foram realizadas seis leituras de RP aleatórias para compor a média da parcela; nos tratamentos com escarificação foram feitas 22 leituras de RP para compor a média da parcela, sendo realizadas a cada 0,1 m, na transversal às linhas do escarificador. As avaliações de RP foram realizada 90 dias e 390 dias após a implantação do experimento.

4.5.2 Determinação das características químicas do solo

As variáveis químicas do solo determinadas foram pH em solução de CaCl_2 1:2,5; matéria orgânica (MO) por digestão úmida; acidez potencial (H+Al); alumínio (Al), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) trocáveis extraídos com KCl 1 mol l^{-1} ; fósforo (P) e potássio (K) extraídos com solução de Mehlich-1. As determinações foram realizadas seguindo metodologia de Tedesco et al. (1995). A partir dos resultados obtidos calculou-se, a soma de bases (SB), a saturação de bases (V%) e a capacidade de troca de cátions (CTC).

4.6 Análises estatísticas

As variáveis de planta e de solo foram submetidas à análise de variância, para determinar o nível de significância das fontes de variação. Para as variáveis de solo foi realizada a análise de variância para cada uma das três profundidades estudadas. Os resultados de RP foram submetidos à análise de variância, para cada uma das oito profundidades avaliadas. Para os parâmetros que apresentaram significância ($p < 0,05$), realizou-se a comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. As análises foram realizadas com o programa estatístico SISVAR.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Alterações em propriedades físicas do solo

Na avaliação física do solo, após o primeiro corte da Tifton 85, houve significância ($p < 0,05$) do efeito da escarificação do solo nas três profundidades avaliadas, para densidade do solo (Ds), porosidade total (PT), macroporos (MaP), microporos (MiP) e condutividade hidráulica saturada (Ks). Na segunda avaliação física do solo, após os quatro cortes da Tifton 85, houve significância ($p < 0,05$) do efeito da escarificação do solo nas profundidades de 0,03-0,08 e 0,10-0,15 m para as variáveis Ds, PT, MaP, MiP e Ks, e na profundidade de 0,20-0,25 m para as variáveis MaP, MiP e Ks. Em ambas as avaliações não houve efeito significativo das adubações e da interação entre escarificação do solo e adubação sobre os indicadores físicos do solo (Apêndices 1, 2 e 3).

Após o primeiro corte da Tifton 85 na profundidade de 0,10-0,15 m, onde não houve escarificação, a Ds (Tabela 5) encontrava-se com valor considerado restritivo ao desenvolvimento de plantas. Os valores encontrados na literatura de densidade crítica estão entre 1,25 a 1,30 Mg m⁻³ para solos de textura muito argilosa (REICHERT et al., 2003).

A escarificação do solo proporcionou redução significativa no estado de compactação do solo devido à redução da Ds e MiP, e aumento da PT e MaP, nas três profundidades avaliadas 80 dias após o manejo do solo (Tabela 5). Essas alterações devem-se às fissuras criadas pela passagem das hastes do escarificador propiciando o aumento da infiltração de água no solo, aumentando os ciclos de molhamento e secagem do solo que se relacionam com a reestruturação do solo, definindo nova porosidade ao mesmo (COLET et al., 2009), favorecendo o crescimento das raízes, troca de gases e absorção de nutrientes. Com a escarificação do solo, a Ds teve significativa redução, passando de 1,25 (não escarificado) para 1,12 Mg m⁻³ (escarificado), na profundidade de 0,10-0,15 m.

Tabela 5 – Densidade do solo, porosidade total, macroporos, microporos e condutividade hidráulica saturada após o primeiro corte da Tifton 85, submetida a diferentes manejos do solo (não escarificado e escarificado), janeiro de 2012.

Manejo do solo	Profundidade (m)		
	0,03 - 0,08	0,10 - 0,15	0,20 - 0,25
	Densidade do Solo (Mg m^{-3})		
Não Escarificado	1,20 a*	1,25 a	1,18 a
Escarificado	1,02 b	1,12 b	1,12 b
	Porosidade Total (%)		
Não Escarificado	59,91 b	58,08 b	60,00 b
Escarificado	66,1 a	62,01 a	62,06 a
	Macroporos (%)		
Não Escarificado	10,42 b	8,72 b	8,53 b
Escarificado	19,68 a	15,36 a	13,13 a
	Microporos (%)		
Não Escarificado	49,48 a	49,36 a	51,46 a
Escarificado	46,42 b	46,64 b	48,93 b
	Condutividade Hidráulica Saturada (mm h^{-1})		
Não Escarificado	207,04 b	90,44 b	68,18 b
Escarificado	1150,14 a	579,89 a	321,12 a

*Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na vertical para cada variável não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5%.

A duração do efeito da escarificação foi constatada 270 dias após o manejo do solo (após os quatro cortes da Tifton 85) (Tabela 6), para Ds, PT, MaP e MiP nas profundidades de 0,03-0,08 e 0,10-0,15 m, e para MaP e MiP na profundidade de 0,20-0,25 m. Sendo que na profundidade de 0,10-0,15 m os valores de Ds foram de 1,11 Mg m^{-3} no solo escarificado e 1,21 Mg m^{-3} no solo não escarificado. Nota-se valor de Ds na segunda avaliação inferior ao crítico encontrado na literatura, contudo na avaliação de caracterização (Tabela 2) para a mesma profundidade o valor de Ds também foi inferior ao limite crítico de 1,25 Mg m^{-3} , estando o resultado relacionado a variabilidade espacial e temporal. A segunda avaliação foi realizada três meses após o quarto corte e a gramínea estava em período de estacionalidade de produção, diminuindo o crescimento da parte aérea e aumentando o desenvolvimento de estolões e raízes (VILELA; RESENDE; LIMA, 2005), o que também pode ter influenciado para menores valores de Ds.

Tabela 6 – Densidade do solo, porosidade total, macroporos, microporos e condutividade hidráulica saturada após o quarto corte da Tifton 85, submetida a diferentes manejos do solo (não escarificado e escarificado), julho de 2012.

Manejo do solo	Profundidade (m)		
	0,03 - 0,08	0,10 - 0,15	0,20 - 0,25
	Densidade do Solo (Mg m^{-3})		
Não Escarificado	1,15 a*	1,21 a	1,16 a
Escarificado	1,03 b	1,11 b	1,14 a
	Porosidade Total (%)		
Não Escarificado	65,57 b	64,14 b	65,55 a
Escarificado	69,67 a	67,43 a	65,90 a
	Macroporos (%)		
Não Escarificado	11,39 b	10,40 b	10,63 b
Escarificado	20,32 a	16,98 a	12,10 a
	Microporos (%)		
Não Escarificado	54,17 a	53,73 a	54,92 a
Escarificado	49,34 b	50,44 b	53,79 b
	Condutividade Hidráulica Saturada (mm h^{-1})		
Não Escarificado	126,61 b	51,63 b	47,07 b
Escarificado	731,66 a	278,89 a	103,28 a

*Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na vertical para cada variável não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5%.

Considerando o intenso tráfego de máquinas na lavoura para as operações em áreas onde é realizada fenação (Tabela 4), pelo menos quatro entradas na lavoura para cada corte, considerando que a última avaliação foi realizada após quatro cortes da Tifton 85, teve-se a entrada das máquinas na lavoura 16 vezes, esperava-se que os efeitos não durassem este tempo. O que pode ter ajudado para a persistência dos efeitos da escarificação é o grande aporte de estolões da Tifton 85 na superfície do solo (VILELA; RESENDE; LIMA, 2005), atuando como amortecedor das pressões exercidas pelos pneus (VEIGA, et al., 2007). Este mesmo resultado é mais difícil de ser observado em cultivos anuais, que dependendo da cultura e do manejo cultural, permanece pouco resíduo na superfície do solo de um cultivo para o outro, havendo menor influência destes resíduos como amortecedores das pressões exercidas pelos pneus; outra diferença entre os sistemas também é o contínuo crescimento de raízes nas áreas com culturas perenes. Também pode-se considerar que a escarificação favoreceu o desenvolvimento das raízes na camada mais adensada, que era em 0,10-0,15 m de profundidade, que juntamente com uma adequada fertilização para a Tifton 85, proporcionou um aumento na densidade de raízes (observado visualmente nas trincheiras no campo). As raízes além de

promoverem uma pressão mecânica com o seu crescimento, promovem secamento no solo ao seu redor aproximando e aumentando a coesão entre partículas; elas também exsudam carboidratos que são fonte de carbono lábil para os microrganismos que intensificam a sua atividade e a produção de polissacarídeos auxiliando na estabilização de agregados (BRAIDA et al., 2011), principalmente na região de solo revolvido pelas hastes do escarificador, retardando o retorno do solo ao estado inicial de compactação.

A atuação do sistema radicular da cultura (SEVERIANO et al., 2010), da matéria orgânica (BRAIDA et al., 2011) e dos organismos do solo, promovem alterações estruturais no solo ao longo do tempo, o que pode explicar variações sazonais, além da própria variabilidade espacial (GIAROLA et al., 2007). Redução significativa da Ds e aumento de MaP do solo com o cultivo da Tifton 85 foram observados por Magalhães et al. (2009) que atribuem a recuperação da estrutura do solo à atividade das raízes. Os autores sugerem que o incremento na disponibilidade de água às plantas pode ter favorecido o maior desenvolvimento de raízes metabolicamente ativas, contribuindo para a descompactação do solo, sugerindo também que a Tifton 85, cultivada em solos com camada de impedimento mecânico, tende a sofrer alterações morfofisiológicas das raízes, associada à alta densidade e à periódica renovação radicular, proporciona recuperação da qualidade estrutural do solo beneficiando o crescimento das plantas, por reduzir as restrições físicas ao desenvolvimento das raízes. Porém, esse fato compromete seriamente o rendimento da gramínea, devido ao gasto de energia metabólica através do transporte de fotossintetizados da parte aérea às raízes (CAMARGO; ALLEONI, 1997) para o rompimento da camada compactada. Os autores observaram que, à medida que ocorreu a recuperação da qualidade estrutural do solo, houve incrementos na produção, na sucessão dos cortes, em função da maior conversão de fotoassimilados em matéria seca (MAGALHÃES et al., 2009).

A porosidade do solo apresentou comportamento semelhante à Ds. Na primeira avaliação houve aumento significativo da PT e MaP (Tabela 5) com a escarificação, para as três profundidades. A diferença entre os manejos escarificado e não escarificado, para PT foi de 6, 4 e 2 pontos percentuais, e para MaP foi de 9, 6 e 4 pontos percentuais nas profundidades de 0,03-0,08, 0,10-0,15 e 0,20-0,25 m, respectivamente. O aumento na PT deu-se pela redução dos MiP e, principalmente, pelo aumento na MaP. Os macroporos são os principais responsáveis pela

infiltração de água e fluxo de gases no solo (KRUMMELBEIN et al., 2008). Na literatura encontra-se que valores de MaP inferiores a 10% (DEXTER, 1988) podem restringir o crescimento de raízes, afetando a respiração do sistema radicular, devido a dificuldade para a troca de gases entre o espaço poroso do solo e a atmosfera, e a infiltração e drenagem da água no perfil do solo. Observa-se que, onde não houve a escarificação, a porcentagem de MaP foi inferior ao limite crítico de 10% nas profundidades de 0,10-0,15 e 0,20-0,25, com valores de 8,72 e 8,53 % respectivamente, passando para 15,36 e 13,13 % nas mesmas profundidades com a escarificação.

O efeito sobre a porosidade do solo perdurou até 270 dias após a escarificação (Tabela 6), com diferenças, entre os manejos, para as profundidades de 0,03-0,08 e 0,10-0,15 m, na PT de 4 e 3 pontos percentuais e na MaP de 8,9 e 6 pontos percentuais. Nesta avaliação observou-se valores de MaP acima de 10% para o manejo do solo não escarificado. Possivelmente este resultado deve-se à ação do sistema radicular da Tifton 85, atuando como “descompactador” do solo, através do desenvolvimento das raízes e pela quantidade destas, por volume de solo, conforme abordado anteriormente.

Avaliando as características físicas do solo com cultivo de diferentes forrageiras, entre elas Tifton 85, Pizzani (2008) observou influência significativa do cultivo de forrageiras no aumento da MaP do solo. Em experimento para avaliar o potencial da Tifton 85 em recuperar a qualidade estrutural do solo, Severiano et al. (2010) comprovaram a agressividade do sistema radicular da gramínea e seu potencial de recuperação da qualidade estrutural do solo, por meio da descompactação biológica. A contínua renovação radicular de gramíneas perenes beneficia a estabilização de agregados do solo, sendo um dos principais efeitos da atividade das raízes à estruturação do solo, implicando em diminuição da Ds (IMHOFF et al., 2000).

O que pode ser observado é que, mesmo após uma estação de crescimento da Tifton 85, durante o qual foram realizados quatro cortes da gramínea, houve permanência do teor de MaP acima de 10%, para o manejo escarificado (Tabela 6), principalmente na profundidade de 0,10-0,15 m a qual apresentou menor valor de MaP na primeira avaliação sem escarificação (Tabela 5). Com base nos resultados, evidencia-se que a escarificação esporádica em áreas destinadas a fenação, que não apresentam restrições químicas no solo e com gramíneas de sistema radicular

agressivo, é efetiva para reduzir efeitos negativos da compactação do solo por pelo menos nove meses.

Os microporos, responsáveis pela armazenagem e retenção de água no solo, foram reduzidos significativamente com a escarificação, 80 dias após o tratamento (Tabela 5), com redução em torno de 3 pontos percentuais, para as três profundidades avaliadas. Houve permanência de menor porcentagem de MiP no manejo do solo escarificado, nove meses após a escarificação (Tabela 6), nas profundidades de 0,03-0,08 e 0,10-0,15 m, com redução de 4,8 e 3,2 pontos percentuais, em relação ao solo não escarificado. Nas duas avaliações, observa-se aumento perceptível de MiP com o incremento da profundidade, estando relacionado com o aumento da Ds e diminuição da MaP.

A condutividade hidráulica saturada está diretamente relacionada à produção das culturas e à preservação do solo e dos recursos hídricos, uma vez que ela expressa a facilidade com que a água se movimenta ao longo do perfil do solo (KLEIN, 2012). A Ks é dependente do número, continuidade e tamanho dos poros (RODRIGUES et al., 2011). Seu comportamento relaciona-se diretamente à MaP, uma vez que estes são os responsáveis pela condução de água no solo. Com a escarificação do solo, os teores de MaP se elevam melhorando a drenagem interna do solo, permitindo infiltração mais rápida da água, reduzindo o escoamento superficial e o tempo de encharcamento do solo (ROSA, 2007).

O aumento da Ks com a escarificação, na primeira avaliação, foi de 943, 489 e 252 mm h⁻¹, nas profundidades de 0,03-0,08, 0,10-0,15 e 0,20-0,25 m, respectivamente (Tabela 5). Na segunda avaliação (Tabela 6) a diferença de Ks com a escarificação foi de 605, 227 e 56 mm h⁻¹, nas profundidades de 0,03-0,08, 0,10-0,15 e 0,20-0,25 m, respectivamente. Os valores de Ks no manejo do solo escarificado sofreram uma redução da primeira avaliação para a segunda, este resultado ocorre devido à acomodação das partículas do solo principalmente pelo efeito da pressão exercida pelo tráfego de máquinas, outro efeito que possivelmente influenciou para a diminuição da Ks foi a maior agregação do solo, 270 dias após a escarificação, promovida pelo crescimento das raízes da Tifton 85, influenciando na geometria dos poros, relacionado à continuidade de poros, que afeta diretamente o volume de água que flui nas camadas do solo (KLEIN, 2012). O que pode ser observado no campo é que, na primeira avaliação, havia pouca presença de raízes nas regiões onde as hastas do escarificador passaram; já na segunda avaliação, a

presença de raízes nas regiões revolvidas foi maior que na região entre as hastes do escarificador.

A presença de bioporos (canais no solo, originados pela presença de animais como minhocas e cupins, e pela decomposição de raízes), tem grande influência na K_s , motivo que leva a uma grande variabilidade espacial desse parâmetro. Essa elevada variabilidade espacial da K_s pode propiciar uma condição de maior condução de água no solo, devido ao movimento da água dentro do microrrelevo da superfície do solo, que tende a se mover para regiões mais baixas, podendo encontrar melhores condições para infiltração no solo (KLEIN, 2012). Um ponto negativo no revolvimento do solo é o rompimento dos poros contínuos na região onde as hastes do escarificador passam. Permanecendo poros grandes na superfície e poros pequenos nas camadas inferiores, pode-se interromper o fluxo ascendente de água no perfil do solo (MORAES, 2013), dificultando a redistribuição de água às plantas em períodos de seca. A presença de poros contínuos favorece o crescimento das raízes em profundidade, possibilitando à planta extrair água armazenada no perfil do solo (REICHERT et al., 2011). A recuperação da qualidade estrutural do solo assume grande importância no contexto ambiental, devido a forte correlação entre a macroporosidade e a infiltração de água no solo, resultando na redução de processos erosivos, além de representar melhores condições para a produção vegetal (MAGALHÃES et al., 2009).

Na primeira avaliação da resistência do solo à penetração, as médias nas diferentes profundidades apresentaram diferença significativa para os manejos com e sem escarificação do solo, até a profundidade de 0,20 m (Figura 9A). Já na segunda avaliação, 390 dias após a escarificação, as médias de RP (Figura 10A) apresentaram diferença significativa para os manejos do solo até a profundidade de 0,25 m. Verifica-se que, em ambas as avaliações, nas profundidades não alcançadas pelas hastes do escarificador, a RP foi semelhante à área não escarificada (Apêndice 4). Não havendo alterações entre os manejos do solo, nos valores de RP, nas profundidades abaixo da profundidade de trabalho das hastes do escarificador, indica um eficiente trabalho do escarificador, sem compactação adicional abaixo da profundidade de trabalho das hastes. Resultados semelhantes foram observados por Colet et al. (2009), avaliando a escarificação do solo 60 dias após a instalação do experimento, em área sob pastagem de *Brachiaria decumbens*.

A umidade do solo no momento em que são efetuadas as medidas de RP influencia o resultado, sendo que o secamento do solo, em conjunto com a elevação da densidade, provoca um aumento acentuado na resistência mecânica do solo, dificultando o desenvolvimento das raízes. Devido à alta influência do teor de água no solo nos valores de RP, foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0,0-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m concomitantemente com as avaliações de RP. Os teores de água no solo obtidos encontram-se na Figura 9B e Figura 10B.

Na primeira avaliação, 90 dias após o manejo do solo, observa-se o efeito benéfico da escarificação (Figura 9A), reduzindo consideravelmente os valores de RP em relação à área não escarificada, sendo que em todas as profundidades avaliadas os valores de RP ficaram abaixo do valor de 2,5 MPa considerado como limite restritivo ao desenvolvimento do sistema radicular de gramíneas (IMHOFF et al., 2000).

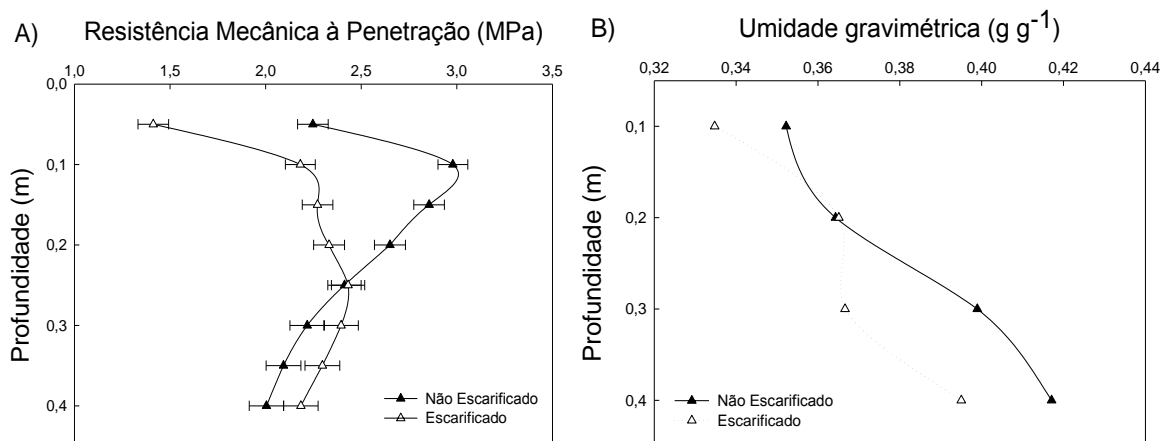


Figura 9 – Resistência mecânica do solo a penetração (A) e umidade gravimétrica do solo (B), nos diferentes manejos do solo (escarificado e não escarificado), após o primeiro corte da Tifton 85, janeiro de 2012.

Aos treze meses após realização da escarificação ainda permanece a diferença significativa nos valores de RP entre os manejos (Figura 10A), sendo que até a profundidade de 0,15 m os valores de RP ficaram abaixo do valor crítico de 2,5 MPa (IMHOFF et al., 2000).

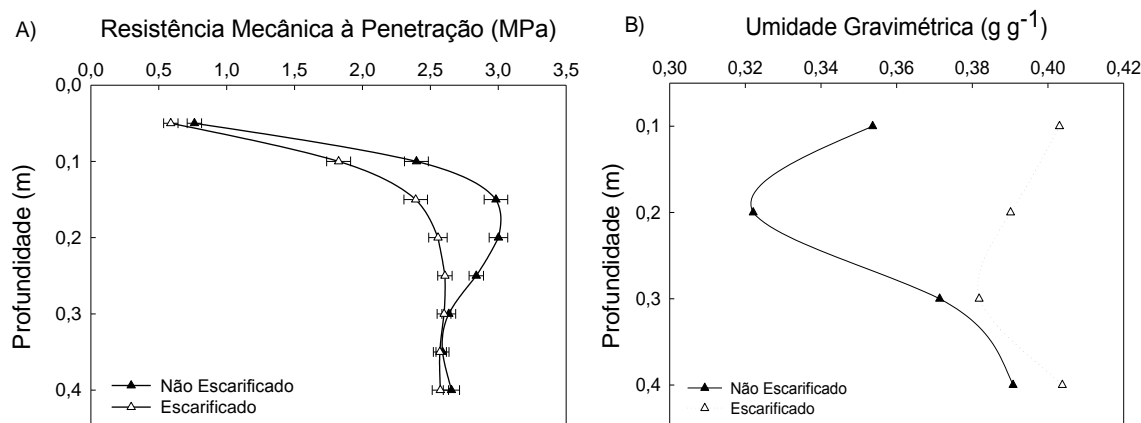


Figura 10 – Resistência mecânica do solo a penetração (A) e umidade gravimétrica do solo (B), nos diferentes manejos do solo (escarificado e não escarificado), após quatro cortes da Tifton 85, novembro de 2012.

Avaliando a RP em sistema plantio direto com e sem escarificação, Camara; Klein (2005a) observaram que em condição de umidade do solo no ponto de murcha permanente, o manejo escarificado apresentou a menor RP, demonstrando a influência da escarificação na diminuição da limitação mecânica no crescimento do sistema radicular das plantas em condições de deficiência hídrica. Pode-se inferir que, no tratamento escarificado, a energia gasta pela planta para o crescimento do sistema radicular será menor em relação ao não escarificado, possibilitando um melhor desenvolvimento das raízes (COLET et al., 2009), aumentando à profundidade e o volume de solo explorado pelas raízes em busca de água e nutrientes e melhorando a produtividade da cultura.

Em estudos avaliando a escarificação do solo em SPD, observa-se um curto período de efeito da escarificação. A escarificação rompe o solo nos pontos de fraqueza, onde as hastes do escarificador passam. Assim, na região entre as hastes do escarificador não há influência do implemento na diminuição das restrições físicas ao desenvolvimento de raízes. Trabalhos com culturas anuais relacionam o curto período de eficiência de escarificação observados com a forma de atuação das hastes do escarificador, uma vez que há a permanência de agregados compactos nos espaços entre as hastes, o retorno do solo à condição anterior à escarificação é favorecido (MORAES, 2013). Avaliando a escarificação em Latossolo Vermelho, Silva et al. (2012) observaram retorno dos atributos físico à condição inicial (antes da escarificação), em um período de seis meses, e Moraes (2013) em dez meses. Para

o SPD, durante a rotação de culturas, devem ser utilizadas plantas com sistema radicular agressivo, abundante e profundo, para ajudar na recuperação da qualidade física de solos compactados (MORAES, 2013). No caso da Tifton 85, por já estar estabelecida na área e apresentar essas características de benefício à estrutura do solo, auxiliou para a duração do efeito da escarificação por treze meses, sem apresentar aumento da compactação do solo em profundidade.

Os teores de matéria orgânica no solo influenciam na sua qualidade estrutural. Em Latossolo com Tifton 85 para fenação, Giarola et al. (2007) observaram teor médio de matéria orgânica de 21,41 g dm⁻³ no solo sob forrageira e 47,97 g dm⁻³ no solo sob floresta nativa. No presente trabalho, os teores de matéria orgânica no solo, após os quatro cortes da Tifton 85, foram de 61,25, 44,00 e 29,84 g dm⁻³, nas profundidades de 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m (Tabela 8), indicando altos teores de matéria orgânica, o que também pode ter contribuído para a duração do efeito da escarificação do solo, com menores valores de RP neste tratamento em comparação ao não escarificado, devido a sua grande influência na formação e estabilização dos agregados do solo (SILVA et al., 2012). Sendo muito importante para a capacidade de suporte de carga do solo, a matéria orgânica atua como ligante orgânico, fortalecendo e aumentando o número de ligações nos pontos de contato entre as partículas minerais, devido a sua elevada área superficial específica e pelo seu efeito amortecedor, que resulta em dissipação de parte da energia aplicada (BRAIDA et al., 2011).

Para o fator adubações, houve diferença significativa na RP, treze meses após a escarificação, na profundidade de 0,05-0,10 m (Apêndice 4), sendo que nas demais profundidades avaliadas não houve diferença significativa. Observa-se na Figura 11 diferença entre a testemunha e a AO+N, com valores de RP de 2,38 e 1,69 MPa, respectivamente. Este resultado deve-se, provavelmente, ao maior desenvolvimento do sistema radicular da Tifton 85 com a adubação, auxiliando na formação de bioporos no perfil do solo. A Tifton 85 possui um sistema radicular agressivo com potencial de recuperação da qualidade estrutural do solo, por meio da descompactação biológica (MAGALHÃES et al., 2009; SEVERIANO et al., 2010), conforme abordado anteriormente. Em solo fértil, com adequado suprimento de água, há uma constante renovação radicular, promovendo a formação de canais no solo com a decomposição de raízes velhas.

Em todas as adubações, os valores de RP ficaram abaixo de 2,5 MPa apresentado como restritivo ao desenvolvimento do sistema radicular de gramíneas perenes (IMHOFF et al., 2000). Este resultado é em função de que as médias das adubações consideram o manejo não escarificado e escarificado juntos, baixando os valores de RP devido às medias menores nas parcelas escarificadas, já que não houve efeito significativo da interação entre os fatores estudados.

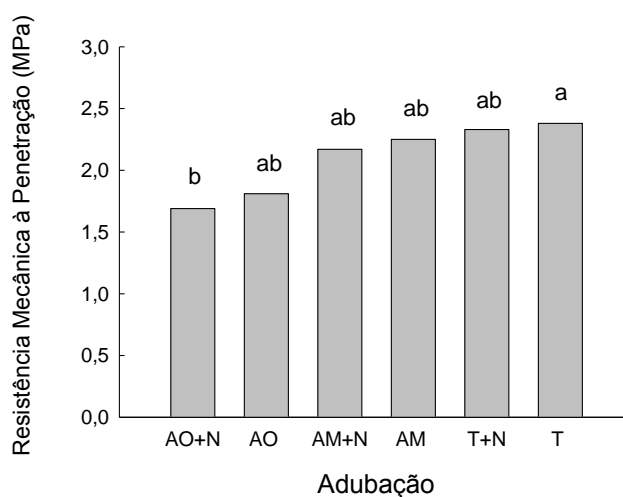


Figura 11 – Resistência mecânica do solo à penetração na profundidade de 0,05-0,10 m, em função das adubações (adubação orgânica (AO); adubação mineral (AM) e testemunha (T), sem e com reposição de N (+N) nos cortes), após quatro cortes da Tifton 85, novembro de 2012.

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Através dos resultados observa-se uma tendência de menores valores de RP nos tratamentos com AO em relação aos com AM, mesmo não tendo apresentado diferença significativa. Acredita-se que a AO, além de contribuir com matéria orgânica, favorece o desenvolvimento de microrganismos no solo, que vão auxiliar na decomposição de resíduos e raízes mortas, favorecendo a formação de bioporos, auxiliando na recuperação da qualidade estrutural do solo. O efeito da matéria orgânica sobre as características físicas do solo, é devido principalmente pelo efeito direto em dissipar parte da energia exercida pelos pneus, aumentando a capacidade de suporte de cargas do solo (VEIGA et al., 2007), o que auxilia para não aumentar o estado de compactação do solo.

5.2 Rendimento de matéria seca da Tifton 85

5.2.1 Rendimento de matéria seca no primeiro corte

Houve significância ($p < 0,05$) para os efeitos principais dos fatores manejo do solo (com e sem escarificação) e adubações (Apêndice 5), no rendimento de matéria seca do primeiro corte da Tifton 85. A maior produtividade foi observada no manejo do solo não escarificado ($5.310 \text{ kg MS ha}^{-1}$) (Figura 12B), com diferença de produção em 27,82 % em relação ao manejo escarificado ($3.833 \text{ kg MS ha}^{-1}$). A menor produção de matéria seca de gramíneas perenes em solo revolvido pela escarificação está relacionada ao dano que o escarificador promove ao sistema radicular. Como o primeiro corte foi realizado 61 dias após a escarificação, não houve tempo suficiente para a gramínea se recuperar do dano às raízes, comprometendo a absorção de nutrientes e, conseqüentemente, a produtividade. Este comportamento também foi observado por Bomfim et al. (2003), em uma pastagem degradada de *Brachiaria*, onde o revolvimento do solo influenciou negativamente a produtividade da gramínea no primeiro corte.

A resposta da Tifton 85 à adubação (Figura 12A) foi maior nos tratamentos com fonte mineral, AM+N e AM (5.896 e $5.822 \text{ kg MS ha}^{-1}$), não diferindo do tratamento com aplicação apenas de N (T+N, com produtividade de $5.273 \text{ kg MS ha}^{-1}$), pois os teores de P e K no solo no início do experimento eram altos (Tabela 1). Esses resultados evidenciam uma resposta exclusivamente ao N mineral aplicado, uma vez que este é o nutriente que frequentemente apresenta maior impacto sobre a produção da Tifton 85 (WOODARD; SOLLENBERGER, 2011). O N aumenta a eficiência fotossintética da folha por estimular a síntese de rubisco, enzima chave nas reações bioquímicas de assimilação do carbono (PEREIRA et al., 2012), favorecendo o perfilhamento inicial após o corte, com aumento da interceptação luminosa, e reduzindo o tempo de balanço negativo devido a cortes drásticos da parte aérea, acelerando a formação e crescimento de folhas (REIS et al., 2005), diminuindo o tempo de intervalo entre os cortes.

A produtividade dos tratamentos com adubação orgânica (AO+N e AO) foram inferiores aos com AM. Embora a quantidade de N adicionado com a cama de aves

ser aproximada da adicionada com ureia (Tabela 3), apenas metade deste N pôde ser aproveitado pelas plantas até o primeiro corte, considerando o índice de liberação do N (0,5) da cama de aves para o solo no primeiro cultivo (CQFS, 2004). Devido ao período necessário para mineralização do resíduo, as plantas que receberam adubação orgânica tiveram uma menor disponibilidade de N, justificando a menor produtividade nestes tratamentos em relação aos tratamentos que receberam fonte mineral, onde os nutrientes já estão em formas solúveis que se tornam prontamente disponíveis às plantas. Outra característica do uso de cama de aves é que as formas de N orgânico presentes no adubo são no geral prontamente mineralizadas para NH_4^+ , propiciando perdas por volatilização de amônia.

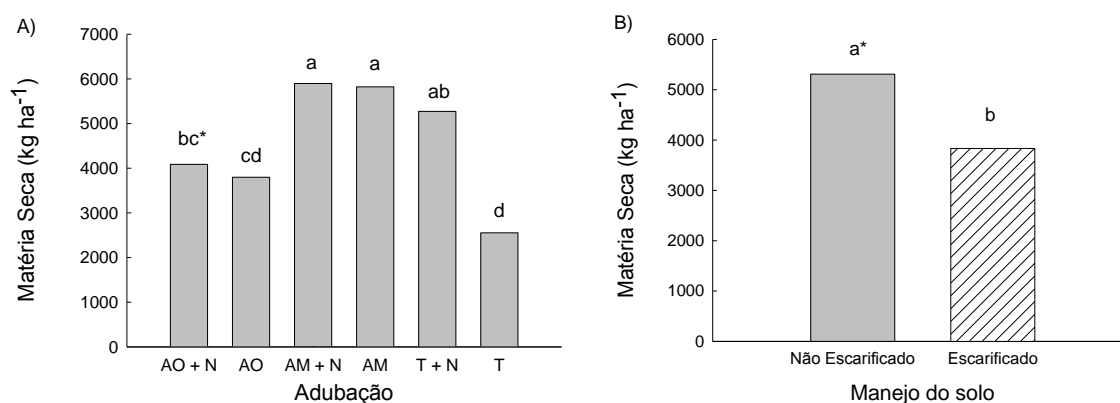


Figura 12 – Rendimento de matéria seca, no primeiro corte da Tifton 85 submetida a diferentes adubações (A) (adubação orgânica (AO); adubação mineral (AM) e testemunha (T), sem e com reposição de N (+N) nos cortes) e manejos do solo (B) (não escarificado e escarificado).

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Resultados semelhantes foram observados por Hanisch; Fonseca (2011) em gramíneas, sendo que no primeiro corte, houve redução da massa de forragem com o uso da cama de aviário, estando relacionado com a imobilização de nutrientes no primeiro mês após a aplicação do esterco, devido a necessidade de mineralização do resíduo. Avaliando a produtividade de *Brachiaria decumbens*, Lana et al. (2010) obtiveram no primeiro corte, menor rendimento com aplicação de cama de aves, em comparação à adubação mineral, porém no segundo corte todos os tratamentos que receberam cama de aves, em diferentes doses, apresentaram produtividade

equivalente ou superior à adubação mineral. Estando o resultado relacionado ao efeito residual da adubação orgânica.

5.2.2 Rendimento de matéria seca no segundo corte

No segundo corte da Tifton 85, houve significância ($p < 0,05$) da interação entre os fatores manejo do solo (com e sem escarificação) e adubações (Apêndice 5) para produção de matéria seca. No segundo corte, 103 dias após a escarificação, houve recuperação da gramínea aos danos causados pelo escarificador às raízes, em função da Tifton 85 apresentar elevada densidade e periódica renovação radicular. Assim, o rendimento de matéria seca no manejo escarificado foi maior que no não escarificado, para os tratamentos AO, AM+N, AM e T+N, com valores de 5.720, 6.760, 6.220 e 7.140 kg MS ha⁻¹, respectivamente (Figura 13). Para a T não houve diferença entre os manejos, justificando-se pela menor disponibilidade de nutrientes para este tratamento, retardando a recuperação das raízes e limitando o desenvolvimento da gramínea.

Este resultado mostra o benefício da escarificação em solo compactado cultivado com gramíneas perenes, para aumentar a produtividade, beneficiando o crescimento das plantas, por reduzir as restrições físicas ao desenvolvimento das raízes (MAGALHÃES et al., 2009), o que pode ser observado nas Tabelas 5 e 6, principalmente pela redução da densidade do solo, aumento da macroporosidade e condutividade hidráulica saturada, permitindo um melhor desenvolvimento radicular, maior infiltração de água no solo e melhores condições para absorção de nutrientes. No tratamento AO a escarificação pode ter auxiliado para acelerar a decomposição da cama de aves, fornecendo maior concentração de nutrientes, principalmente N, favorecendo o desenvolvimento da Tifton 85.

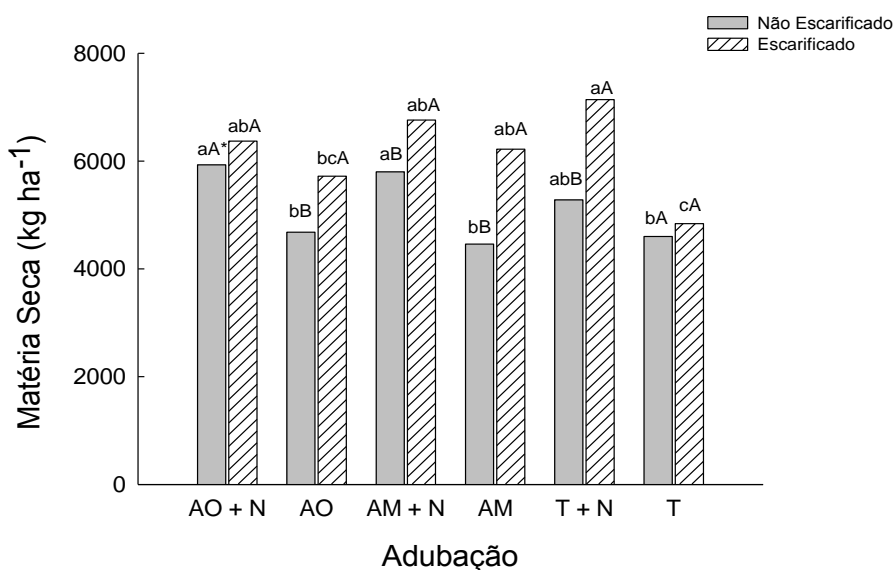


Figura 13 – Rendimento de matéria seca, no segundo corte da Tifton 85 submetida a diferentes manejos do solo (não escarificado e escarificado) e adubações (adubação orgânica (AO); adubação mineral (AM) e testemunha (T), sem e com reposição de N (+N) nos cortes).

*Médias seguidas pela mesma letra maiúscula para manejo do solo e minúsculas para adubação não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Para a adubação AO+N, a produtividade não diferiu significativamente entre o manejo do solo escarificado (6.370 kg MS ha⁻¹) e não escarificado (5.930 kg MS ha⁻¹). A maior contribuição da adubação com cama de aves (AO+N) na produtividade de matéria seca no manejo não escarificado, deve-se ao fato de que os nutrientes são liberados conforme o material é decomposto. Esse efeito residual dos compostos orgânicos diminui as perdas de nutrientes (HELTON et al., 2008; HANISCH; FONSECA, 2011), em função da liberação gradativa, proporcionando aumento da eficiência de utilização pelas plantas.

5.2.3 Rendimento de matéria seca no terceiro corte

Houve significância ($p < 0,05$) para os efeitos principais dos fatores manejo do solo (com e sem escarificação) e adubações (Apêndice 5), no rendimento de matéria seca no terceiro corte da Tifton 85 (Figura 14A e B), o qual foi realizado 135 dias após a escarificação do solo e ainda observa-se contribuição desta na produtividade.

A produção de matéria seca da gramínea foi de 3.710 kg MS ha⁻¹ e 3.320 kg MS ha⁻¹, para solo escarificado e não escarificado, respectivamente. A maior contribuição da escarificação, no aumento da produtividade, deve-se à melhoria nas propriedades físicas do solo (Tabelas 5 e 6), permitindo um melhor desenvolvimento radicular, maior infiltração de água no solo e melhores condições para absorção de nutrientes, conforme abordado anteriormente.

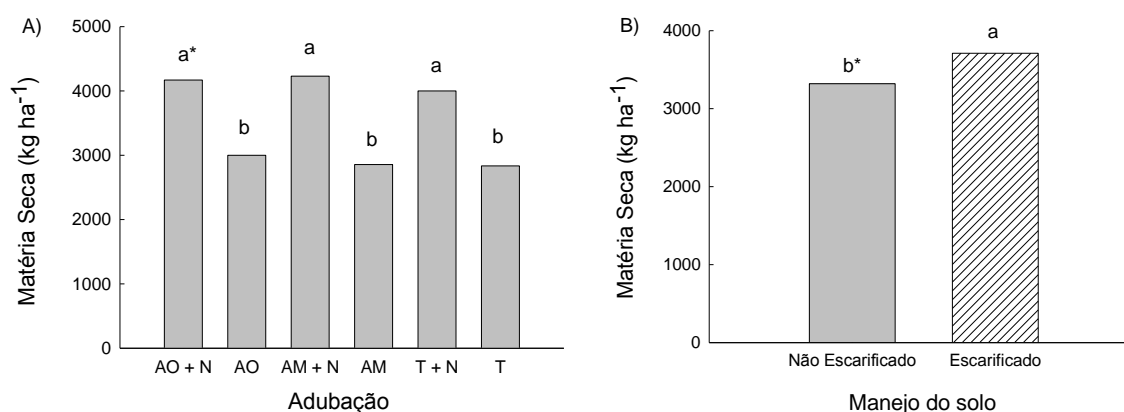


Figura 14 – Rendimento de matéria seca, no terceiro corte da Tifton 85 submetida a diferentes adubações (A) (adubação orgânica (AO); adubação mineral (AM) e testemunha (T), sem e com reposição de N (+N) nos cortes) e manejos do solo (B) (não escarificado e escarificado).

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

A resposta da Tifton 85 à adubação foi maior nos tratamentos que receberam N a cada corte, AO+N, AM+N e T+N, com produção de 4.170, 4.230 e 4.000 kg MS ha⁻¹, respectivamente, que diferiram significativamente dos tratamentos sem a reaplicação de N, com produção de 3.000 (AO), 2.855 (AM) e 2.835 (T) kg MS ha⁻¹. Os resultados mostram uma resposta importante da Tifton 85 ao N mineral aplicado após o corte, nutriente que apresenta maior impacto sobre a produção de gramíneas.

A contribuição do N residual da cama de aves (AO) já não é mais percebida no terceiro corte, havendo necessidade de suprimento de N novamente para a cultura. Avaliando a resposta de gramíneas à fertilizante mineral e cama de aves Hanisch; Fonseca (2011) observaram baixa produtividade da Tifton 85 com dose média de 60 kg ha⁻¹ de N, mesmo sob suficiência de P e K. Para Tifton 85 a alta

disponibilidade de N é prática indispensável para manifestar seu potencial produtivo e obter elevadas produtividades.

5.2.4 Rendimento de matéria seca no quarto corte

Houve significância ($p < 0,05$) para o efeito principal do fator adubação (Apêndice 4), no rendimento de matéria seca no quarto corte da Tifton 85. O fator manejo do solo (com e sem escarificação) não apresentou diferença significativa. As maiores produtividades (Figura 15) foram observadas nos tratamentos AO+N seguido pelo AM+N, com produção de 5.495 e 5.425 kg MS ha⁻¹, respectivamente. Novamente as maiores produtividades ocorreram nos tratamentos que receberam N a cada corte. Pode-se supor que a capacidade de absorção de nutrientes do Tifton 85, principalmente do N, estivesse além das disponíveis no solo nos tratamentos AO, AM e T, uma vez que os três receberam no início do experimento um quarto do nitrogênio aplicado nos demais tratamentos, justificando o baixo efeito residual da aplicação de fertilizante nitrogenado para cortes subsequentes. Os resultados mostram uma grande importância da aplicação de N após o corte da Tifton 85, como forma de estimular o crescimento da gramínea. Embora não avaliado neste trabalho, a suplementação com N mineral nos cortes parece ser mais eficiente do que uma reaplicação com cama de aves, tendo em vista os efeitos de uma possível imobilização do N mineral e riscos de acúmulo de outros elementos aplicados e que são absorvidos em menor quantidade pelas plantas.

Apesar de não haver diferença estatística, no manejo do solo escarificado, observa-se uma contribuição de 790 kg MS ha⁻¹ da adubação AO+N para a AM+N, com produtividades de 5.910 e 5.120 kg MS ha⁻¹, respectivamente. Este resultado, possivelmente, seja em função do efeito residual do N provindo da cama de aves, uma vez que o quarto corte foi 193 dias após a disposição da cama de aves no solo. No tratamento escarificado a cama de aves foi semi-incorporada, pois foi adicionada ao solo e logo após, realizada a escarificação. Este manejo possivelmente auxiliou para uma decomposição mais rápida do esterco em relação ao solo não escarificado, favorecendo a liberação dos nutrientes e também diminuindo a perda de nutrientes.

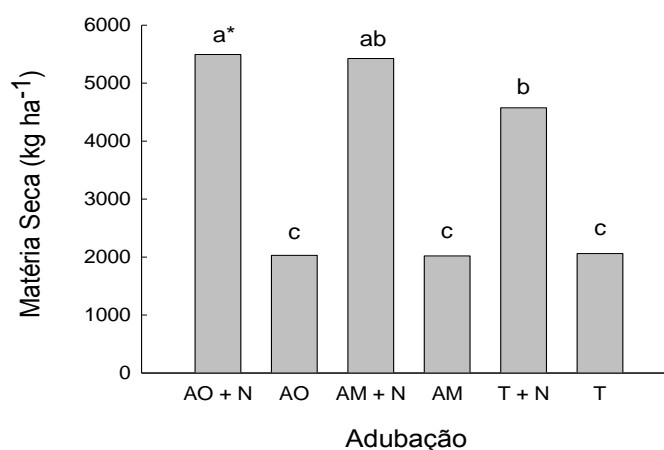


Figura 15 – Rendimento de matéria seca, no quarto corte da Tifton 85 submetida a diferentes adubações (adubação orgânica (AO); adubação mineral (AM) e testemunha (T), sem e com reposição de N (+N) nos cortes).

*Médias entre tratamentos de adubação, seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Ao contrário do que acontece com fontes minerais, onde a disponibilidade imediata dos nutrientes é maior, em adubos orgânicos a liberação é gradativa, dependendo da decomposição do esterco. Essa característica dos resíduos orgânicos pode aumentar sua eficiência de utilização pelas plantas, contribuindo na diminuição das perdas de nutrientes por escoamento superficial e por lixiviação para o lençol freático (HANISCH; FONSECA, 2011).

5.2.5 Rendimento acumulado de matéria seca em quatro cortes

Para a produtividade acumulada, houve significância ($p < 0,05$) para o efeito principal da adubação (Apêndice 5) no rendimento de matéria seca da Tifton 85. O fator manejo do solo não apresentou diferença significativa entre os tratamentos (com e sem escarificação). O rendimento acumulado de matéria seca, dos quatro cortes (Figura 16), foi maior para a adubação AM+N, seguida da AO+N e T+N que não diferiram pelo teste de Tukey a 5%, apresentando produções de 21.830, 19.901 e 20.057 kg MS ha⁻¹, respectivamente, os quais receberam maiores níveis de N, o que já era esperado pela alta resposta das gramíneas a este nutriente.

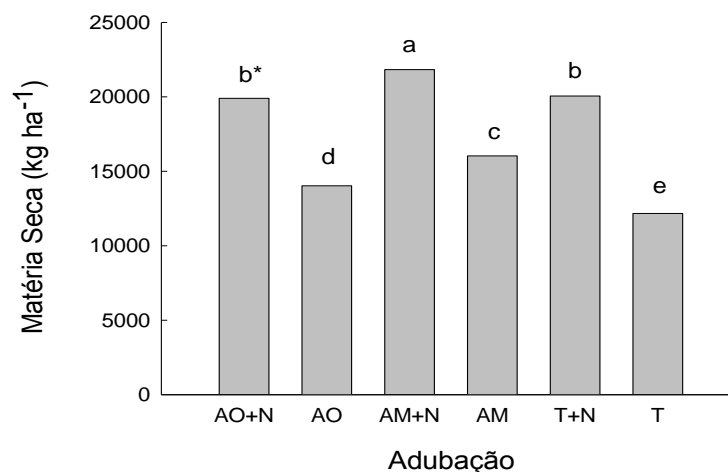


Figura 16 – Produtividade acumulada de matéria seca, dos quatro cortes da Tifton 85 submetida a diferentes adubações (adubação orgânica (AO); adubação mineral (AM) e testemunha (T), sem e com reposição de nitrogênio (+N) nos cortes).

*Médias entre tratamentos de adubação, seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

A adubação com cama de aves não apresentou maior contribuição em relação à adubação mineral considerando uma estação de crescimento da Tifton 85, sendo que a adubação orgânica foi significativamente menor que a adubação mineral tanto no tratamento AO+N em comparação a AM+N como na AO (14.029 kg MS ha⁻¹) em comparação a AM (16.037 kg MS ha⁻¹). Porém, deve-se considerar que a cama de aves pode ser um insumo disponível na propriedade e precisa ser descartado adequadamente. Assim, aspectos econômicos e ambientais devem ser utilizados para a definição da fonte de nutrientes a ser aplicada. A diferença de custo do tratamento AO+N e AM+N foi de 67 reais por tonelada de MS produzida a mais para o segundo tratamento (Tabela 7). Os cálculos para o custo de produção foram feitos com base no valor comercial das fontes minerais, e para a cama de aves considerou-se o valor do resíduo estabilizado juntamente com a aplicação na lavoura, não foi levado em consideração no cálculo o preço do transporte do esterco, caso não seja da própria propriedade.

Tabela 7 – Custo das adubações por hectare e por tonelada de matéria seca (MS) produzida.

Tratamento	MS (Kg ha ⁻¹)	R\$ ha ⁻¹	R\$ / Tonelada MS
AO + N	19901	1739	87
AO	14029	670	47
AM + N	21831	3380	154
AM	16037	2310	144
T + N	20058	1426	71
T	12170		

O fornecimento de outros nutrientes essenciais às plantas, com destaque para os micronutrientes, e que não presentes nos fertilizantes, pode ser uma vantagem do uso de resíduos orgânicos (CQFS-RS/SC, 2004). O uso de adubos orgânicos também pode auxiliar na recuperação da qualidade estrutural do solo, apesar de um ano de avaliação poder ser pouco tempo para obtenção de diferenças significativas. Na Figura 11 para a profundidade de 0,05-0,10 m, pode-se observar diferença significativa nos valores de RP, sendo menores com o uso de cama de aves e na Figura 10 observa-se maior umidade gravimétrica do solo no manejo com escarificação até 0,2 m de profundidade, mostrando maior retenção de água no solo neste tratamento. Outro aspecto a ser considerado no uso de fontes orgânicas é a necessidade de uma suplementação de N mineral juntamente com a aplicação de cama de aves, como forma de compensar a lenta mineralização do N do resíduo orgânico.

Os manejos de escarificação ou não do solo não apresentaram diferença, para uma estação de crescimento da Tifton 85. A produtividade no manejo escarificado ficou comprometida no primeiro corte, pelo dano ocasionado nas raízes. Talvez a realização da escarificação no início do inverno, após o último corte, gerasse um maior tempo para a forrageira se recuperar dos danos às raízes, aumentando o volume de raízes no período de estacionalidade de produção, resultando numa maior produção no tratamento escarificado já no primeiro corte.

5.3 Teores de nutrientes no solo após quatro cortes da Tifton 85

Através da análise de variância verificou-se significância ($p < 0,05$) para o fator adubação, na profundidade 0,0-0,10 m para as variáveis pH, H+Al, índice SMP e potássio (Apêndice 1), e na profundidade de 0,10-0,20 m para o potássio (Apêndice 2). O fator manejo do solo não apresentou diferença significativa para os tratamentos (com e sem escarificação). Na Tabela 8 encontram-se os valores dos atributos químicos do solo, após uma estação de crescimento da Tifton 85.

A variável pH (Figura 17) apresentou diferença significativa, pelo teste de Tukey a 5%, com as diferentes adubações. O que pode ser observado é uma redução do pH com a adubação mineral, principalmente no tratamento AM+N. O mesmo resultado foi observado por Pires et al. (2008), avaliando adubação mineral e orgânica. O resultado deve-se principalmente à ureia aplicada, pois no processo de nitrificação há liberação de íons H^+ , acidificando o solo (TAIZ; ZEIGER, 2004). A absorção do amônio pelas plantas também provém a redução do pH do solo, devido à extrusão de prótons da raiz para a rizosfera (PIRES et al., 2008). A permanência de maior valor de pH na AO+N (5,8) em relação à AM+N (5,5) pode ser atribuída à liberação de amônia pela decomposição da cama de aves. Durante a decomposição de resíduos orgânicos, são originados compostos orgânicos hidrossolúveis que complexam cátions de reação ácida (Fe^{+2} , Mn^{+2} e Al^{+3}) na solução do solo, liberando ânions (OH^- , HCO_3^-) que causam precipitação do Al e aumentam o pH (LIMA et al., 2007). Apesar das diferenças encontradas serem significativas, os valores não tem uma expressão agrônômica que deva ser considerada neste momento.

Tabela 8 – Atributos químicos do solo em profundidade, após o quarto corte da Tifton 85, julho de 2012.

	Profundidade (m)		
	0,0-0,10	0,10-0,20	0,20-0,30
pH (CaCl ₂)	5,7	5,7	5,7
Matéria Orgânica (g dm ⁻³)	60,00	44,00	29,84
Alumínio ⁺³ (cmol _c dm ⁻³)	0	0	0
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	3,62	3,62	3,55
Cálcio (cmol _c dm ⁻³)	8,67	6,78	5,40
Magnésio (cmol _c dm ⁻³)	2,34	2,46	2,43
Potássio (mg dm ⁻³)	146,95	84,14	46,02
Fósforo (mg dm ⁻³)	15,47	2,09	0,96
Saturação por bases	75,75	72,25	68,88
Soma de bases	11,40	9,46	7,95
Índice SMP	6,40	6,43	6,48
CTC (cmol _c dm ⁻³)	15,02	13,09	11,53

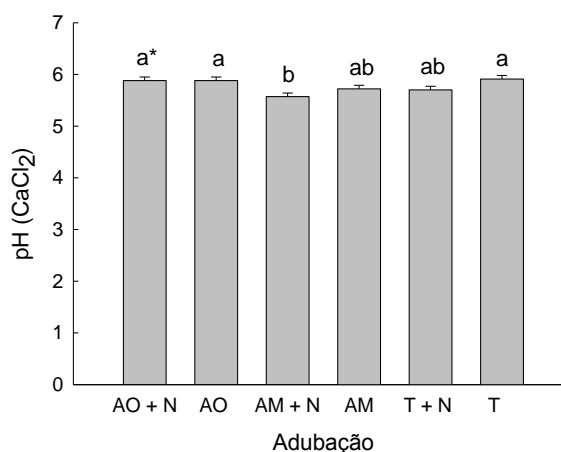


Figura 17 – Valores de pH no solo em função da adubação (adubação orgânica (AO); adubação mineral (AM) e testemunha (T), sem e com reposição de N (+N) nos cortes), após o quarto corte da Tifton 85, julho de 2012.

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Devido a menor produção vegetal, os tratamentos AO, AM e T absorveram menores quantidades de K do solo, deixando maior concentração no solo deste nutriente (Figura 18). O tratamento T+N não recebeu adubação potássica e teve alta exportação de K (Figura 20), assim a concentração de K no solo, após os quatro cortes, foi a mais baixa para este tratamento apresentando 49 e 33 mg de K dm⁻³, nas profundidades de 0,0-0,10 e 0,10-0,20 m, valor considerado baixo, levando em conta a CTC_{pH 7} do solo (13,2 cmol_c dm⁻³) (CQFS-RS/SC, 2004). Assim, a reposição adequada de K em áreas de fenação deve ser uma das principais preocupações para a manutenção do potencial produtivo da forrageira. Uma possibilidade seria a aplicação complementar de K após cada corte, juntamente com o N, já que as quantidades estimadas na recomendação não foram suficientes para manter os teores no solo para os tratamentos com reaplicação de N em cada corte.

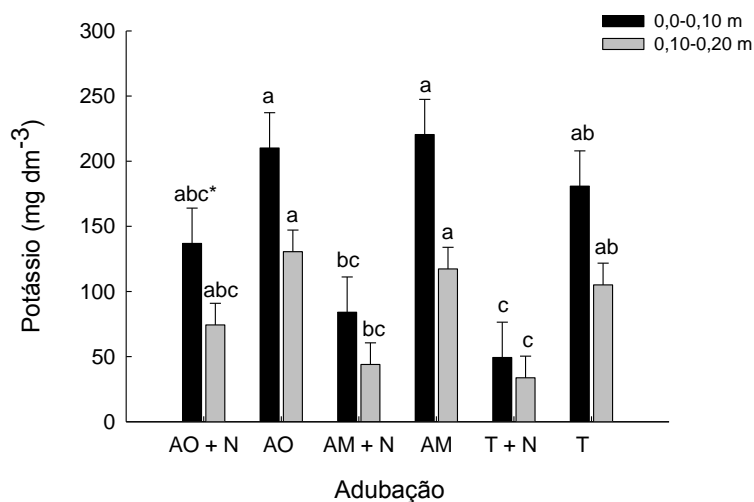


Figura 18 – Concentração de potássio no solo, em função da adubação (adubação orgânica (AO); adubação mineral (AM) e testemunha (T), sem e com reposição de N (+N) nos cortes), após o quarto corte da Tifton 85, julho de 2012.

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

5.4 Exportação de nutrientes pela Tifton 85

As porcentagens de P, K, Ca e Mg no tecido foliar da Tifton 85 encontram-se na faixa de suficiência para a cultura (CQFS-RS/SC, 2004), para os seis tratamentos. Houve diferença apenas no teor de N no tecido foliar, sendo que os tratamentos que receberam menos N (AO, AM e T), apresentaram teor de N abaixo da faixa de suficiência considerada para a cultura.

Houve significância ($p < 0,05$) para o efeito principal da adubação para as variáveis: nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio (Apêndice 5). A maior exportação de N (Figura 19) foi observada nas adubações AO+N, AM+N e T+N, com valores de 442,66, 460,38 e 442,79 kg N ha⁻¹, respectivamente, sendo que o tratamento AO+N recebeu um total de 485,5 kg N ha⁻¹, e os tratamentos AM+N e T+N receberam um total de 510 kg N ha⁻¹. Os demais tratamentos recebem apenas uma aplicação de N no início do experimento, sendo de 103 kg N ha⁻¹ para AO e 127,5 kg ha⁻¹ para AM. A exportação de N para as adubações AO, AM e T foi de 192,61, 249,44 e 180,75 kg ha⁻¹, respectivamente. Os três tratamentos apresentaram exportação de N maior que o N adicionado, mostrando a contribuição

do N provindo da decomposição de resíduos orgânicos presentes no solo, principalmente tecido morto da Tifton 85.

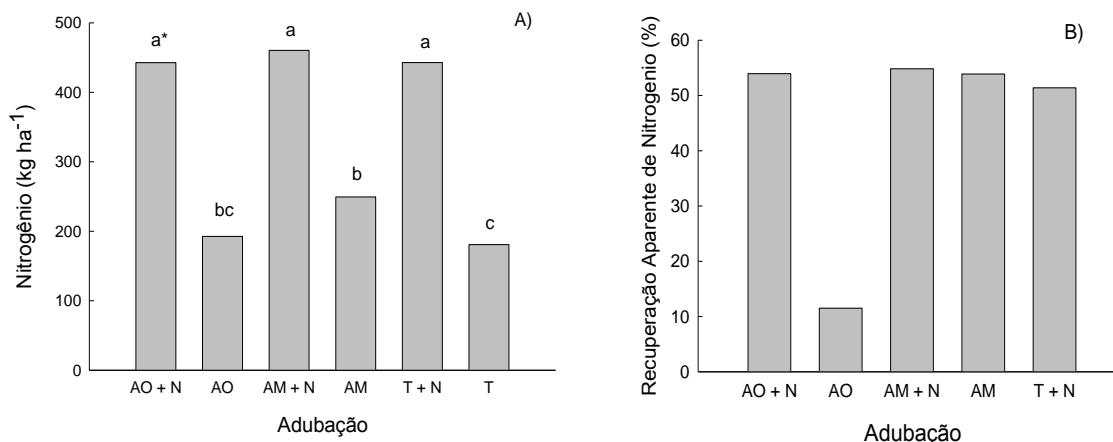


Figura 19 – Exportação de nitrogênio pela Tifton 85 (A) e recuperação aparente de nitrogênio (B), em quatro cortes em função da adubação (adubação orgânica (AO), adubação mineral (AM) e testemunha (T), sem e com reposição de N (+N) nos cortes).

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Pelos resultados, evidencia-se a necessidade de parcelamento do N a cada corte da Tifton 85 e a necessidade de complemento de N mineral quando é utilizada adubação com cama de aves, pois se a cada corte for aplicada a cama de aves para suprir a demanda por N, os níveis de P e K poderão ficar em excesso no solo, provocando um desequilíbrio nutricional no futuro, ou mesmo maiores riscos de contaminação ambiental.

A exportação de P e K (Figura 20) teve comportamento semelhante ao N, sendo que as maiores exportações de ambos os nutrientes foram nos tratamentos que receberam maior quantidade de N, diferindo pelo teste de Tukey a 5% dos tratamentos que receberam menor quantidade de N. Os níveis de P exportado foram 72,52, 54,17, 74,49 53,43 66,09 e 49,05 kg ha⁻¹, para as adubações AO+N, AO, AM+N, AM, T+N e T, respectivamente. Apenas os tratamentos T+N e T não receberam adubação fosfatada, mas como o teor inicial (Tabela 1) de P no solo era alto, a exportação do nutriente para os tratamentos que receberam P não diferiu significativamente dos tratamentos sem P. Assim a adubação fosfatada serviu para manutenção dos níveis do nutriente no solo. A adequada disponibilidade de P no solo para as plantas é essencial, devido a sua participação no armazenamento e

transferência de energia, atuando na fotossíntese e respiração, por ser constituinte dos ácidos nucleicos e dos fosfolipídios, e essencial para a divisão celular, estando envolvido no crescimento radicular das plantas (REIS et al., 2005).

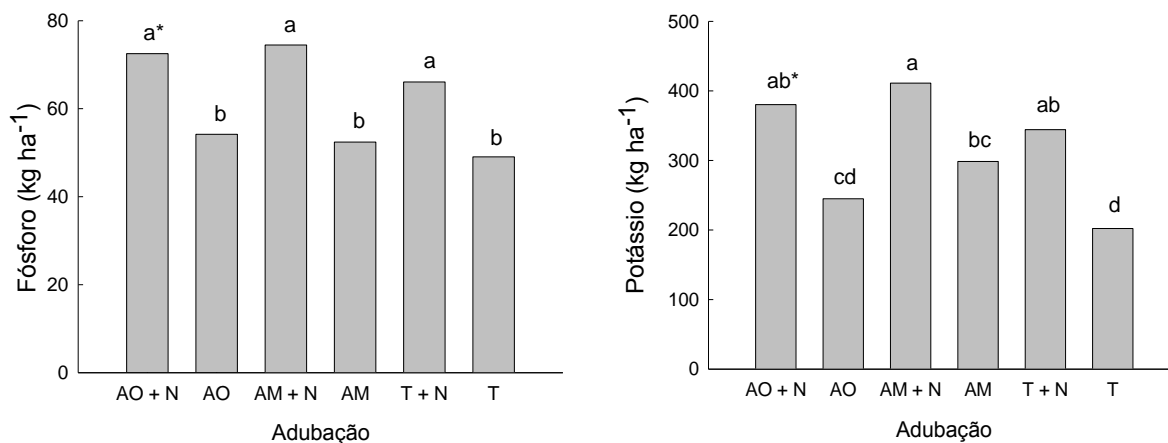


Figura 20 – Exportação de fósforo e potássio pela Tifton 85 em quatro cortes em função da adubação (adubação orgânica (AO), adubação mineral (AM) e testemunha (T), sem e com reposição de N (+N) nos cortes).

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Os níveis de K exportado foram 380, 244, 411, 298, 344 e 202 kg ha⁻¹, para as adubações AO+N, AO, AM+N, AM, T+N e T, respectivamente. Apenas os tratamentos T+N e T não receberam adubação com potássio. Como o teor inicial (Tabela 1) de K no solo era alto, a exportação do nutriente para os tratamentos que receberam K não diferiu significativamente dos tratamentos sem K.

Alta eficiência de uso do P e do K requer altos níveis de N (HELTON et al., 2008), refletindo em maior produtividade. Quando a fertilização nitrogenada é intensificada as taxas de extração de K do solo por gramíneas são altas, sendo semelhantes às quantidades de K e N extraídos pelas plantas. O K exerce função regulatória, participando como ativador de enzimas, contribuindo na manutenção do potencial osmótico, abrindo ou fechando estômatos, assim plantas bem nutridas em K são mais resistentes ao estresse hídrico (REIS et al., 2005).

A exportação de Ca e Mg (Figura 21) foi maior nos tratamentos que receberam mais N, pois o aumento da produção de tecido vegetal demandou a absorção de mais nutrientes. Para ambos os nutrientes, os tratamentos que

receberam maior quantidade de N diferiram pelo teste de Tukey a 5% dos tratamentos que receberam menor quantidade de N. Os valores exportados de Ca foram 81,54, 94,43 e 89,61 kg ha⁻¹, e de Mg foram 89,63, 86,41 e 95,10 kg ha⁻¹, para os tratamentos AO+N, AM+N e T+N.

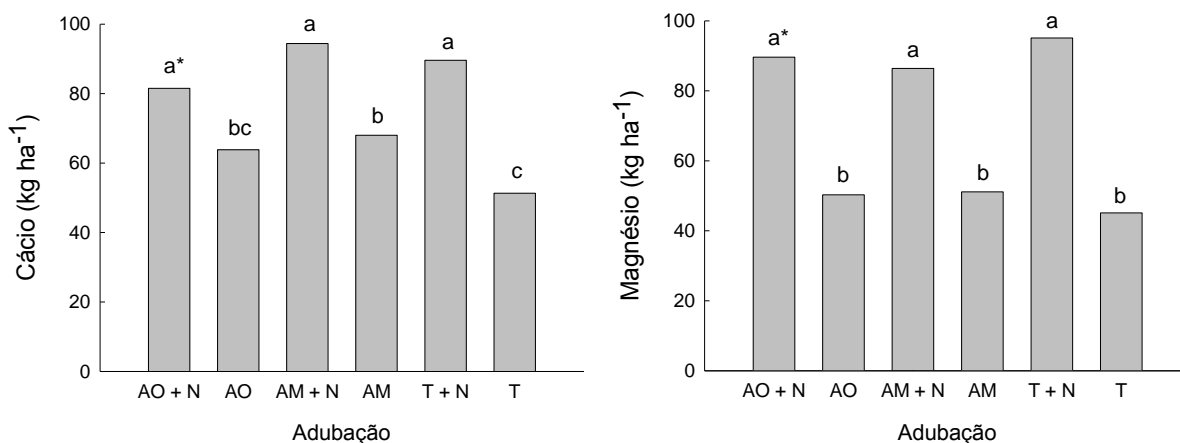


Figura 21 – Exportação de cálcio e magnésio pela Tifton 85 em quatro cortes em função da adubação (adubação orgânica (AO), adubação mineral (AM) e testemunha (T), sem e com reposição de N (+N) nos cortes).

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

5.5 Qualidade da forragem

Através da análise de variância a variável proteína bruta (PB) apresentou significância ($p < 0,05$) para o efeito principal do fator adubação, no terceiro e quarto corte da Tifton 85 (Apêndice 5). Para a variável fibra em detergente neutro (FDN) houve significância ($p < 0,05$), para o efeito principal do fator manejo do solo no primeiro corte, para o efeito principal da adubação no quarto corte, e para interação entre os tratamentos no terceiro corte (Apêndice 5).

O teor de PB no tecido foliar está relacionado ao teor de N presente na planta, em média 16% de N na PB (VIELMO, 2008). Assim, seu valor depende da extração de N pela planta. Gramíneas em geral extraem níveis elevados de N e sua resposta à adubação nitrogenada varia em função da espécie, da época do ano, da fonte de nutrientes, do estágio de desenvolvimento da planta e da fertilidade do solo.

No primeiro corte da Tifton 85 (Figura 22A), não houve diferença de PB no tecido foliar entre as adubações, sendo que apenas a testemunha não recebeu N. O mesmo comportamento foi observado para o teor de FDN, no primeiro corte da Tifton 85 (Figura 23A), uma vez que a FDN esta relacionada inversamente com o teor de PB no tecido foliar das gramíneas. A melhora do valor nutritivo da forragem ocorre em função do aumento da fração mais digestível (PB) e redução da fração menos digestível (fibras).

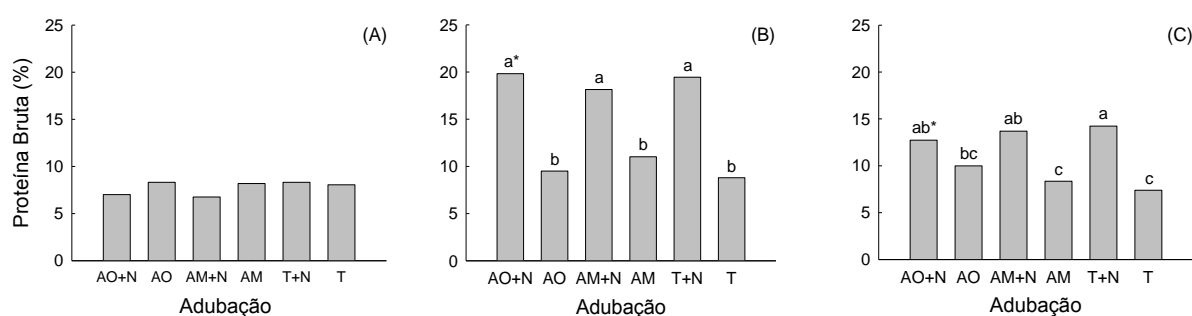


Figura 22 – Teor de proteína bruta na Tifton 85 em função da adubação (adubação orgânica (AO), adubação mineral (AM) e testemunha (T), sem e com reposição de N (+N) nos cortes), no primeiro (A), terceiro (B) e quarto (C) corte.

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Os teores de PB foram baixos no primeiro corte (Figura 22A), com média de 7,77 %, e os teores de FDN altos (Figura 23A), com média de 67%. Esse resultado deve-se ao avançado estágio de desenvolvimento fisiológico das plantas no momento do corte. Com o avanço da idade da gramínea, ocorre redução na relação folha/colmo, tendo maior participação do colmo na MS em comparação as lâminas foliares, que tendem a ser mais digestíveis por apresentarem maior concentração de PB e menor concentração de fibras. A composição química da Tifton 85 além de variar com o estágio de desenvolvimento fisiológico, também é alterada com a adubação, época do ano, temperatura e precipitação (REIS et al., 2005).

No terceiro corte (Figura 22B) os teores de PB no tecido foliar, foram maiores nos tratamentos que tiveram reaplicação de N depois do corte, sendo de 19,8, 18,1 e 19,4% de PB para AO+N, AM+N e T+N, respectivamente. Conseqüentemente, os teores de FDN (Figura 23B) para os mesmos tratamentos foram menores do que nos tratamentos que não receberam N. Com maior disponibilidade de N, o crescimento

da Tifton 85 é mais rápido, atingindo altura de corte em idade mais jovem, situação na qual pode ocorrer maior percentual de folhas na planta.

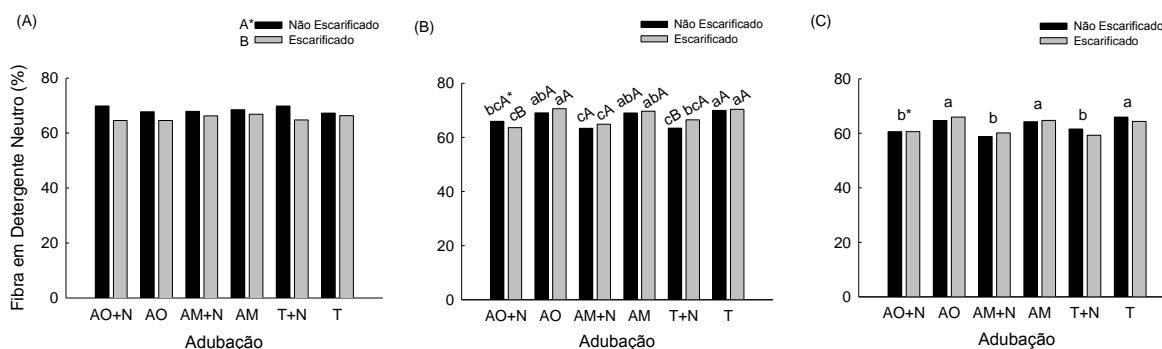


Figura 23 – Teor de fibra em detergente neutro na Tifton 85 em função da adubação (adubação orgânica (AO), adubação mineral (AM) e testemunha (T), sem e com reposição de N (+N) nos cortes), no primeiro (A), terceiro (B) e quarto (C) corte, e em função do manejo do solo (não escarificado e escarificado) no terceiro (B) corte.

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula para adubação e maiúsculas para manejo do solo não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Houve variação do manejo do solo (com e sem escarificação) nas adubações AO+N e T+N, para FDN no terceiro corte (Figura 23B). Para AO+N verificou-se menor FDN com a escarificação do solo. Possivelmente a escarificação acelerou o processo de decomposição da cama de aves, fornecendo N do resíduo para a planta, e melhores condições para a absorção do nutriente. Já para o tratamento T+N o teor de FDN foi menor no manejo do solo não escarificado, em comparação ao escarificado.

Os teores de PB no tecido foliar no quarto corte (Figura 22C) foram maiores nos tratamentos que tiveram reaplicação de N depois do corte, sendo de 12,7, 13,6 e 14,2% de PB para AO+N, AM+N e T+N, respectivamente. Já os teores de FDN (Figura 23C) para os mesmos tratamentos foram menores do que nos tratamentos que não receberam N. As diferenças entre os tratamentos ocorrem devido às condições fisiológicas das plantas estarem diferentes no momento do corte, uma vez que nem todos os tratamentos haviam atingido a altura de 0,45 m, estando relacionado principalmente à disponibilidade de N.

O manejo do solo alterou significativamente o teor de FDN no tecido vegetal da Tifton 85 no primeiro corte (Figura 23A), 80 dias após a escarificação, sendo que a escarificação do solo proporcionou redução de 3 pontos percentuais no teor de FDN na parte aérea da planta, em comparação ao solo não escarificado. A redução do teor de fibra melhora a qualidade da forragem, por facilitar a digestão. O solo escarificado, por ter diminuição do estado de compactação, pode ter aumentado a disponibilidade de água para a Tifton 85, favorecendo a produção de folhas, possibilitando uma relação folha/colmo maior.

Quando a Tifton 85 passa por um estresse, como déficit hídrico ou temperaturas muito baixas, ela cessa a produção e expansão de folhas, havendo o alongamento das hastes e produção de sementes, aumentando a concentração de tecidos mais lignificados, com menor digestibilidade para os animais (CARVALHO; PIRES, 2008). A expansão foliar é um dos processos fisiológicos mais sensíveis ao déficit hídrico, uma vez que a planta cessa o alongamento de folhas muito antes dos processos de fotossíntese e divisão celular serem afetados (TAIZ; ZEIGER, 2004).

6 CONCLUSÕES

Escarificação esporádica em áreas destinadas à fenação, com gramíneas de sistema radicular agressivo auxilia na redução do estado de compactação do solo, melhorando a sua qualidade estrutural e a mantendo por pelo menos treze meses. A produtividade total não apresentou diferença em relação aos manejos do solo porém foi observado contribuição da escarificação para aumentar a quantidade de água retida no perfil do solo até a profundidade de 0,2 m.

A escarificação do solo no mês de outubro para áreas com Tifton 85 não é recomendada, pois não houve tempo suficiente para a gramínea se recuperar do dano às raízes ocasionado pelo escarificador, comprometendo a produção do primeiro corte.

O uso de cama de aves auxilia na recuperação da qualidade física do solo, sendo evidenciado no presente trabalho por diferença na resistência mecânica do solo à penetração na profundidade de 0,05-0,10 m.

A produtividade da Tifton 85 com o uso de cama de aves foi inferior à adubação mineral no somatório dos cortes da gramínea. Contudo o custo por tonelada nos tratamentos com fontes minerais foram superiores ao com adubação orgânica sendo de 1,7 vezes superior para os tratamentos que receberam N adicional a cada corte. Devendo-se considerar aspectos econômicos e ambientais para a definição da fonte de nutrientes a ser utilizada. A complementação com N mineral após os cortes é fundamental para obter alta produtividade da forrageira.

Os teores de PB e FDN da Tifton 85 não foram alterados com as diferentes fontes de fertilizantes, apresentado diferença apenas para maiores níveis de nitrogênio.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através dos resultados observados na produtividade da Tifton 85, acredita-se que antecipando a escarificação do solo para o mês de maio (início do período de estacionalidade de produção) permita maior recuperação das raízes do dano promovido pelo escarificador, obtendo-se maior rendimento de matéria seca já no primeiro corte. Podendo-se recomendar a escarificação em áreas de fenação com camadas mais adensadas, principalmente por aumentar a infiltração e retenção de água no solo, diminuindo problemas ambientais por erosão do solo em áreas com alta declividade em períodos muito chuvosos e aumentando a disponibilidade de água às plantas em período de estiagens.

A Tifton 85 possui um sistema radicular agressivo, que pode auxiliar para melhorias na estrutura do solo. Estudos a campo avaliando o crescimento do sistema radicular da gramínea, em diferentes estados de compactação do solo, contribuiriam com maiores informações sobre o comportamento das raízes e benefícios à estrutura do solo.

Há a necessidade de estudos de longo período com o uso de adubos orgânicos em gramíneas perenes para maiores detalhes dos benefícios desses resíduos à estrutura do solo em sistemas de produção de feno.

O uso de cama de aves apesar de não apresentar a maior produtividade teve custo 1,7 vezes inferior à adubação mineral por tonelada de matéria seca produzida. Uma complementação com N mineral à adubação orgânica antes do primeiro corte da Tifton 85 ajudará para obter maiores produtividades no primeiro corte, devido ao tempo de mineralização do resíduo e disponibilização dos nutrientes para a planta, principalmente o N que para as gramíneas tem alto impacto na produção.

Nas áreas com Tifton 85 para fenação deve-se ter uma maior atenção para a reposição adequada de potássio uma vez que as quantidades estimadas na recomendação não foram suficientes para manter os teores no solo para os tratamentos com reaplicação de N em cada corte. Uma possibilidade seria a aplicação complementar de K após cada corte, juntamente com o N.

8 REFERÊNCIAS

ANDREOLA, F.; COSTA, L. M.; OLSZEWSKI, N. Influência da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e, ou mineral sobre as propriedades físicas de uma Terra Roxa Estruturada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 4, p. 857-865, 2000.

ARAÚJO, A. A. **Forrageiras para ceifa: capineiras, pastagens, fenação e ensilagem**. 3. ed. Porto Alegre, Sulina, 1978. 176 p.

ARAÚJO, M. A. et al. Efeitos da escarificação na qualidade física de um Latossolo Vermelho distroférrico após treze anos de semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 495-504, 2004.

ASSIS, D. F. **Produtividade e composição bromatológica da *Brachiaria decumbens* após segundo ano de aplicação de dejetos de aves e suínos**. 2007. 101 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Veterinárias), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007.

ATHAYDE, A. A. R., et al. **Gramíneas do Gênero *Cynodon* - Cultivares Recentes no Brasil**. Lavras: Universidade Federal de Lavras. Boletim técnico, n. 73, 2007. 14 p.

AZAR, G. S. **Avaliação de cultivares de *Cynodon* nos períodos seco e chuvoso, na região do Piauí**. 2007. 60 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal). Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2007.

BAVER, L. D.; GARDNER, W. H.; GARDNER, W. R. **Soil Physics**. 4 ed. 1972. 498 p.

BERTÉ, L. N., et al. Associação da adubação química e orgânica na produção de milho para silagem no Oeste do Paraná. IN: **XXVIII Congresso Nacional de Milho e Sorgo**, 2010. CD-Rom, p. 961-966.

BHERING, S. B.; SANTOS, H. G. dos. **Mapa de Solos do Estado do Paraná: legenda atualizada**. Rio de Janeiro: EMBRAPA/IAPAR. 2008. 74 p.

BOMFIM, E. R. P. et al. Efeito do tratamento físico associado à adubação em pastagem degradada de *Braquiária*, nos teores de proteína bruta, fibra em detergente neutro e fibra em detergente ácido. **Ciência Agrotécnica**, Lavras. v. 27, n. 4, p. 912-900, 2003.

BONATO, R. G. **Qualidade Operacional da Fenação: Análise do Processo de Produção**. Dissertação (Mestrado em Agronomia). 2004. 118 f. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2004.

BOTTA, G. F. et al. Soil compaction produced by tractor with and cross-ply tyres in two tillage regimes. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, n. 101, p. 44-51, 2008.

BRAIDA, J. A. **Matéria orgânica e resíduos vegetais na superfície do solo e suas relações com o comportamento mecânico do solo sob plantio direto**. 2004. 126 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

BRAIDA, J. A. et al. Matéria orgânica e seu efeito na física do solo. In: FILHO, O. K.; MAFRA, A. L.; GATIBONI, L. C. (Org.). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.7, p.222-227, 2011.

BURTON, G.L. Tifton 85 Bermudagrass – Early history of its creation, selection, and evaluation. **Crop Science**, Madison, v. 41, p. 5-6, 2001.

CAMARA, R. K. **Influência da Escarificação do Solo Sob Sistema Plantio Direto das Propriedades do Solo e na Cultura da Soja**. 2004. 96 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2004.

CAMARA, R. K.; KLEIN, V. A. Propriedades físico-hídricas do solo sob plantio direto escarificado e rendimento da soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 4, p. 813-819, 2005. [a]

CAMARA, R. K.; KLEIN, V. A. Escarificação em plantio direto como técnica de conservação do solo e da água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 789-796, 2005. [b]

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba, Degaspar, 1997. 132 p.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. IN: **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017 p.

CARVALHO, G. G. P.; PIRES, A. J. V. Organização dos tecidos de plantas forrageiras e suas implicações para os ruminantes. **Archivos de Zootecnia**, n. 57, p. 13-28, 2008.

CARVALHO, R. C. R., et al. Soil shear strength under non irrigated and irrigated short duration grazing systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 631-638, 2010.

CHAMBLISS, C. G.; DUNAVIN, L. S. **Tifton 85 bermudagrass**. 2003. Disponível em: <<http://edis.ifas.ufl.edu>>. Acesso em: 02 junho. 2011.

COLLARES, G. L., et al. Compactação de um Latossolo induzida pelo tráfego de máquinas e sua relação com o crescimento e produtividade de feijão e trigo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 933-942, 2008.

COLET, M. J., et al. Alteração em atributos físicos de um solo sob pastagem após escarificação. **Ciência agrotécnica**, Lavras, v. 33, n. 2, p. 361-368, 2009.

CQFS-RS/SC. **Manual de adubação e de calagem para os estados do RS e SC**. 10. ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul, 2004. 394 p.

COSTA, A. M., et al. Potencial de recuperação física de um Latossolo vermelho, sob pastagem degradada, influenciado pela aplicação de cama de frango. **Ciência agrotécnica**, Lavras, v. 33, Edição Especial, p. 1991-1998, 2009.

CUNHA, J. P. A. R. da; VIEIRA, L. B.; MAGALHÃES, A. C. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes densidades e teores de água. **Engenharia na Agricultura**, v. 10, n. 4, p. 1-7, 2002.

DEXTER, A. R. Advances in characterization of soil structure. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 11, p. 199-238, 1988.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. Revisado e atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 212 p.

ERNANI, P. R.; ALMEIDA, J. A. de; SANTOS, F. C. Potássio. IN: **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017 p.

FERREIRA, M. M. Caracterização física do solo. In: **Física do Solo**, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. 298 p.

FERREIRA, R. R. M., et al. Efeitos de sistemas de manejo de pastagens nas propriedades físicas do solo. **Semina Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, n. 4, p. 913-932, 2010.

FIDALSKI, J. **Física do solo**. Texto elaborado para Capacitação do Programa Paraná Fértil (Instituto EMATER) e Curso de Atualização de Conhecimentos em Ciência do Solo (IAPAR), 2009.

FONSECA, G. C., et al. Atributos físicos, químicos e biológicos de Latossolo Vermelho distrófico de cerrado sob duas rotações de cultura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiás, v. 37, n. 1, p. 22-30. 2007.

GALZERANO, L. **Estabelecimento de Pastagens de Tifton 85 sob Doses de Adubação Nitrogenada**. 2008. 39 f. Dissertação (Mestrado em Zootécnia), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2008.

GIAROLA, N. F. B.; TORMENA, C. A.; DUTRA, A. C. Degradação Física de um Latossolo vermelho Utilizado para Produção Intensiva de Forragem. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 31, p. 863-873, 2007.

GOERING, H. K.; VAN SOEST, P. J. **Forage fiber analyses, apparatus, reagents, procedures and some applications**. Washington DC: USDA, 1970. 20 p. (USDA. Agricultural handbook, 379).

HADDAD, C. M.; CASTRO, F. G. F. Produção de feno com forrageiras *Cynodon*. **Revista Balde Branco**, n. 426, 2000.

HANISCH, A. L.; FONSECA, J. A. Características produtivas e qualitativas de sete forrageiras perenes de verão sob adubação orgânica e mineral. **Revista Verde**, Mossoró, v. 6, n. 4, p. 1-6 2011.

HELTON, T.J., et al. Effects of dairy manure compost and supplemental inorganic fertilizer on Coastal Bermudagrass. **Agronomy Journal**, v. 100, n. 4, p. 924-930. 2008.

HILL, G. M.; GATES, R. N.; BURTON, G. W. Forage Quality and Grazing Steer Performance from Tifton 85 and Tifton 78 Bermudagrass Pasture. **Journal of Animal Science**. 1993. v. 71, p. 3219-3225.

HILL, G. M. et al. Pesquisa com capim bermuda cv. Tifton 85 em ensaios de pastejo e de digestibilidade de feno com bovinos. In: **Simpósio sobre manejo da pastagem: manejo de pastagem de tifton, coast-cross e estrela**, 1998. 296 p, Piracicaba. Anais... Piracicaba: FEALQ/ESALQ. p. 7-22.

HUANG, D; WANG, K.; WU, W.L. Dynamics of soil physical and chemical properties and vegetation succession characteristics during grassland desertification under sheep grazing in an agro-pastoral transition zone in Northern China. **Journal of Arid Environments**, n. 70, p. 120–136, 2007.

IMHOFF, S.; SILVA, A. P. da; TORMENA, C. A. Aplicações da curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 7, p. 1493-1500, 2000.

IMHOFF, S. et al. Quantificação das pressões críticas para o crescimento das plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 11-18, 2001.

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

KLEIN, V. A. **Física do solo**. Passo Fundo-RS. 2.ed. Universidade de Passo Fundo, 2012. 240 p.

KONZEN, E. A. Aproveitamento de dejetos líquidos de suínos para fertirrigação e fertilização em grandes culturas. **Circular Técnica 32**, ISSN 1518-4269, 2003.

KONZEN, E. A.; ALVARENGA, R. C. Manejo e utilização de dejetos animais: aspectos agronômicos e ambientais. **Circular Técnica 63**, ISSN 1679-1150, 2005.

KRUMMELBEIN, J.; PETH, S.; HORN, R. Determination of pre-compression stress of a variously grazed steppe soil under static and cyclic loading. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 99, p. 139-148, 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**, Uberlândia, v. 26, n. 2, p. 249-256, 2010.

LANZANOVA, M. E., et al. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 31, p. 1131-1140, 2007.

LEE, R. D., HARRIS, G.; MURPHY, T. R. Bermudagrasses in Georgia. The University of Georgia, **Bulletin 911**, 2010.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. **Advances in Soil Science**, v. 1, p. 277-293, 1985.

LIMA, C. L. R., et al. Compressibilidade de um solo sob sistemas de pastejo rotacionado intensivo irrigado e não irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 945-951, 2004.

LIMA, C. L. R., et al. Produtividade de culturas e resistência à penetração de Argissolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 1, p. 89-98, 2010.

LIMA, J. J., et al. Influência da adubação orgânica nas propriedades químicas de um Latossolo Vermelho distrófico e na produção de matéria seca de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. *Acta Scientiarum Agronomy*, Maringá, v. 29, p. 715-719, 2007.

MACHADO, A. L. T., et al. **Máquinas para preparo do solo, semeadura, adubação e tratamentos culturais**. Pelotas: Universitária UFPel, 1996. 229 p.

MAGALHÃES, E. N. de, et al. Recuperação estrutural e produção de capim Tifton 85 em um Argissolo vermelho-amarelo compactado. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v. 10, n. 1, p. 68-76, 2009.

MARTÍNEZ, L. J.; ZINCK, J. A. Temporal variation of soil compaction and deterioration of soil quality in pasture areas of Colombian Amazonia. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, n. 75, p. 3-17, 2004.

MATOS, A. T; ABRAHÃO, S. S; PEREIRA, O. G. Desempenho agrônômico de capim tifton 85 (*Cynodon* spp) cultivado em sistemas alagados construídos utilizados no tratamento de água residuária de laticínios. **Ambiente & Água**, Taubaté, v. 3, n. 1, p. 43-53, 2008.

MELLO, S. C.; VITTI, G. C. Desenvolvimento do tomateiro e modificações nas propriedades químicas do solo em função da aplicação de resíduos orgânicos, sob cultivo protegido. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 2, p. 200-206, 2002.

MEROTTO, A.; MUNDSTOCK, C. M. Wheat root growth as affected by soil strength. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 197-202, 1999.

MORAES, M. T. **Qualidade física do solo sob diferentes tempos de adoção e de escarificação do sistema plantio direto e sua relação com a rotação de culturas**. 2013. 196 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

MOSADDEGHI, M. R. et al. Comparisons of different procedures of pre-compaction stress determination on weakly structured soil. **Journal of Terramechanics**, v. 44, p. 53-63, 2007.

NICOLOSO, R. da S., et al. Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um Latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 1723-1734, 2008.

PARENTE, H. N. et al. Comportamento ingestivo de ovinos em pastagem de Tifton 85 (*Cynodon ssp.*) na região nordeste do Brasil. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 38, n. 2, p. 210-215, 2007.

PEDREIRA, C. G. S.; NUSSIO, L. G.; SILVA, S. C. Condições edafo-climáticas para produção de *Cynodon* spp. In: **Simpósio sobre manejo da pastagem: manejo de pastagem de tifton, coast-cross e estrela**, 1998. 296 p., Piracicaba. Anais... Piracicaba: FEALQ/ESALQ. p. 85-114.

PEDROTTI, A.; DIAS JUNIOR, M. S. Compactação do solo: como evitá-la. **Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v. 9, n. 4, 1996.

PEDROTTI, A. et al. Resistência mecânica à penetração de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 521-529, 2001.

PEREIRA, O. G. et al. Crescimento do capim-tifton 85 sob doses de nitrogênio e alturas de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Brasília, v. 41, n. 1, p. 30-35, 2012.

PIRES, A. A. et al. Efeito da adubação alternativa do maracujazeiro-amarelo nas características químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 1997-2005, 2008.

PIZZANI, R. **Produção e qualidade de forrageiras e atributos de um Argissolo Vermelho**. 2008. 94 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Revista Ciência & Ambiente**, Santa Maria, v. 27, n.2, p. 29-48, 2003.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigações. In: **Tópicos de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 5, p. 49-134, 2007.

REICHERT, J. M. et al. Hidrologia do solo, disponibilidade de água às plantas e zoneamento agroclimático. In: KLAUBERG FILHO, O.; MAFRA, A. L.; GATIBONI, L. C. **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 7, p. 1-54, 2011.

REIS, R. A. et al. Produção de fenos de *Cynodon*. In: **Cynodon: Forrageiras que estão revolucionando a pecuária brasileira**. p. 79-131. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2005. 250 p.

RODRIGUES, S. et al. Permeabilidade ao ar em Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.35, n.1, p.105-114, 2011.

ROSA, D. P. da. **Comportamento dinâmico e mecânico do solo sob níveis diferenciados de escarificação e compactação**. 2007. 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

SANTOS, H. P. S., et al. Atributos químicos e físicos de solo sob pastagens perenes de verão. *Bragantia*, Campinas, v. 68, n. 4, p. 1037-1046, 2009.

SECCO, D.; REINERT, D. J. Efeito imediato e residual de escarificadores em Latossolo Vermelho-escuro sob plantio direto. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 16, n. 3, p. 52-61, 1997.

SECCO, D. **Estados de compactação e suas implicações no comportamento mecânico e na produtividade de culturas em dois Latossolos sob plantio direto**. 2003. 128 f. Tese (Doutorado em Agronomia), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

SECCO, D., et al. Produtividade de soja e propriedades físicas de um Latossolo submetido a sistemas de manejo e compactação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 28, p. 797-804, 2004.

SECCO, D., et al. Atributos físicos e rendimento de grãos de trigo, soja e milho em dois Latossolos compactados e escarificados. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 39, n. 1, 2009.

SEGANFREDO, M. A. Os dejetos de suínos são um fertilizante ou um poluente do solo? *Caderno de Ciência & Tecnologia*, Brasília, v. 16, n. 3, p. 129-141, 1999.

SEGANFREDO, M. A. **A adubação com dejetos de suínos melhora ou polui o solo?** Disponível em: <<http://www.suinos.com/emb/cnpsa-00001.htm>>. Acesso em 23 de agosto de 2011.

SENRA, A. F., et al. Resistência à penetração em Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo do solo. *Revista Ciências Técnicas Agropecuárias*, San José de las Lajas, v. 16, n. 1, 2007.

SEVERIANO, E. C. et al. Potencial de descompactação de um Argissolo promovido pelo capim-tifton 85. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 14, n. 1, p. 39-45, 2010.

SILVA, V. R. S. **Propriedades físicas e hídricas em solos sob diferentes estados de compactação**. 2003. 171 f. Tese (Doutorado em Agronomia) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

SILVA, A. A. **Potencialidade da recuperação de pastagem de *Brachiaria decumbens* fertilizada com camas de aviário e fontes minerais**. 2005. 166 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Veterinárias), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2005.

SILVA, S.G.C. et al. Temporary effect of chiseling on the compaction of a Rhodic Hapludox under no-tillage. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, p. 547-555, 2012.

SILVEIRA, G. M. **O preparo do solo: implementos corretos**. Rio de Janeiro: Globo, 1988. 243 p.

SOLLENBERGER, L. E. Sustainable Production Systems for *Cynodon* Species in the Subtropics and Tropics. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Brasília, v. 37, suplemento especial p. 85-100, 2008.

STRECK, C. A., et al. Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 3, p. 755-760, 2004.

STRECK, C. A., et al. Relações do parâmetro S para algumas propriedades físicas de solos do Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, Número Especial, p. 2603-2612, 2008.

TAIZ, L.; ZEIGER, L. **Fisiologia vegetal**. 3.ed. Porto Alegre, Artmed, 2004. 719p.

TEDESCO, M.J. et al. **Análise de solos, plantas e outros materiais**. 2. Ed. Porto Alegre. Departamento de Solos da UFRGS, 1995. 174p. (Boletim técnico n. 5).

TOIGO, S.; BRAIDA, J. A.; CARNIELETTO, C. E. Diagnóstico das condições químicas e físicas do solo em áreas sob plantio direto no município de Flor da Serra do Sul, PR. In: **Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, 2007, Gramado. Anais, SBCS: Viçosa, 2007.

TORMENA, C. A. et al. Propriedades físicas e taxa de estratificação de carbono orgânico num Latossolo Vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo. R. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 1023-1031, 2004.

VEIGA, M. et al. Soil compressibility and penetrability of a Oxisol from southern Brazil, as affected by long-term tillage systems. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 92, n. 1-2, p. 104-113, 2007.

VIELMO, H. **Dejeto Líquido de Suínos na Adubação de Pastagens de Tifton 85**. 2008. 94 f. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

VILELA, D.; ALVIM, M. J. Manejo de Pastagens do Gênero *Cynodon*: introdução, caracterização e evolução do uso no Brasil. In: **Simpósio sobre manejo da pastagem: manejo de pastagem de tifton, coast-cross e estrela**, 1998. 296 p. Piracicaba. Anais... Piracicaba: FEALQ/ESALQ. p. 23-54.

VILELA, D.; RESENDE, J. C.; LIMA, J. ***Cynodon*: Forrageiras que estão revolucionando a pecuária brasileira**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2005. 250 p.

VOGT, A. S. L., et al. Características produtivas de duas gramíneas forrageiras tropicais e feijão-guandú sob diferentes sistemas de cultivo. In: **I Seminário Nacional de Meio Ambiente e Extensão Universitária**, UNIOESTE: Marechal Cândido Rondon, 2010. Disponível em: <http://www.ripasul.pr.gov.br/arquivos/File/Producao_Centros_Mesorregionais-PR/1senama.pdf>, acesso em: 22/08/2011.

WOODARD, K.; SOLLENBERGER, L. E. Broiler Litter vs. Ammonium nitrate as nitrogen source for bermudagrass hay production: Yield, Nutritive value, and nitrate leaching. **Crop Science**, Madison, v. 51, p. 1342-1352, 2011.

YOKOYAMA, L. P., et al. Avaliação econômica de técnicas de recuperação de pastagens. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 8, p. 1335-1345, 1999.

APÊNDICES

Apêndice A – Quadrado médio das fontes de variação para os atributos físicos na profundidade de 0,03-0,08 m, e químicos do solo na profundidade de 0,0-0,10 m, Chopinzinho, PR, 2013.

Variáveis	Manejo	Adubação	Interação	Erro	CV (%)
<i>PRIMEIRA AVALIAÇÃO – Janeiro de 2012</i>					
MiP	113**	8,60 ^{NS}	1,39 ^{NS}	7,49	5,71
PT (%)	459**	6,41 ^{NS}	3,01 ^{NS}	5,35	3,67
MaP	1028**	16,38 ^{NS}	2,99 ^{NS}	9,46	20,43
Ds (Mg m ⁻³)	0,398**	0,005 ^{NS}	0,002 ^{NS}	0,003	5,54
Ks (mm h ⁻¹)	10673279**	327167 ^{NS}	184931 ^{NS}	165107	59,88
<i>SEGUNDA AVALIAÇÃO – Julho de 2012</i>					
MiP	279,7**	5,1 ^{NS}	2,1 ^{NS}	6,06	4,76
PT (%)	201,9**	4,04 ^{NS}	6,5 ^{NS}	6,09	3,65
MaP	956**	6,8 ^{NS}	11,9 ^{NS}	11,3	21,27
Ds (Mg m ⁻³)	0,19**	0,003 ^{NS}	0,002 ^{NS}	0,002	4,68
Ks (mm h ⁻¹)	4393086**	56963 ^{NS}	62266 ^{NS}	147287	89,43
pH	0,0002 ^{NS}	0,147**	0,04 ^{NS}	0,039	3,44
Matéria Orgânica	2,39 ^{NS}	98,42 ^{NS}	55,14	53,25	12,16
H+Al	0,53 ^{NS}	0,84*	0,22 ^{NS}	0,26	14,31
Cálcio	0,90 ^{NS}	0,96 ^{NS}	1,74 ^{NS}	1,03	11,74
Magnésio	0,21 ^{NS}	0,21 ^{NS}	0,44 ^{NS}	0,3	23,56
Potássio	326 ^{NS}	38596**	1485 ^{NS}	5867	52,13
Fósforo	764,32 ^{NS}	227,31 ^{NS}	127,75 ^{NS}	199,47	91,25
V (%)	27,74 ^{NS}	31,91 ^{NS}	22,46 ^{NS}	12,92	4,75
SB	2,14 ^{NS}	1,72 ^{NS}	3,05 ^{NS}	1,4	10,41
Índice SMP	0,04 ^{NS}	0,07*	0,02 ^{NS}	0,02	2,54
CTC	0,53 ^{NS}	1,37 ^{NS}	2,23 ^{NS}	1,35	7,75

** : significativo a 1%; * : significativo a 5% e ^{NS} : não significativo pelo teste F.

Apêndice B – Quadrado médio das fontes de variação para os atributos físicos na profundidade de 0,10-0,15 m, e químicos do solo na profundidade de 0,10-0,20 m, Chopinzinho, PR, 2013.

Variáveis	Manejo	Adubação	Interação	Erro	CV (%)
<i>PRIMEIRA AVALIAÇÃO – Janeiro de 2012</i>					
MiP	88,34**	15,03 ^{NS}	3,45 ^{NS}	4,87	4,59
PT (%)	184,93**	4,89 ^{NS}	2,93 ^{NS}	8,86	4,95
MaP	528**	6,94 ^{NS}	5,70 ^{NS}	7,84	23,25
Ds (Mg m ⁻³)	0,20**	0,001 ^{NS}	0,002 ^{NS}	0,002	4,54
Ks (mm h ⁻¹)	2874751**	57574 ^{NS}	52443 ^{NS}	43476	62,21
<i>SEGUNDA AVALIAÇÃO – Julho de 2012</i>					
MiP	129,8**	2,8 ^{NS}	4,05 ^{NS}	2,77	3,2
PT (%)	129,8**	1,05 ^{NS}	4,5 ^{NS}	4,6	3,29
MaP	519**	2,1 ^{NS}	4,2 ^{NS}	5,39	16,95
Ds (Mg m ⁻³)	0,13**	0,0004 ^{NS}	0,002 ^{NS}	0,001	3,5
Ks (mm h ⁻¹)	619763**	14017 ^{NS}	14268 ^{NS}	9424	58,74
pH	0,01 ^{NS}	0,03 ^{NS}	0,02 ^{NS}	0,03	3,26
Matéria Orgânica	4,61 ^{NS}	45,14 ^{NS}	49,9 ^{NS}	44,24	15,12
H+Al	1,03 ^{NS}	0,33 ^{NS}	0,43 ^{NS}	0,3	15,15
Cálcio	0,53 ^{NS}	0,41 ^{NS}	0,13 ^{NS}	1,06	15,19
Magnésio	0,06 ^{NS}	0,25 ^{NS}	0,11 ^{NS}	0,15	15,8
Potássio	140 ^{NS}	12700**	662 ^{NS}	2211	55,89
Fósforo	4,6 ^{NS}	2,7 ^{NS}	2,9 ^{NS}	2,3	73,52
V (%)	42,6 ^{NS}	17,2 ^{NS}	20,9 ^{NS}	19,1	6,06
SB	0,2 ^{NS}	0,4 ^{NS}	0,4 ^{NS}	1,1	11,12
Índice SMP	0,12*	0,03 ^{NS}	0,03 ^{NS}	0,02	2,61
CTC	0,31 ^{NS}	0,26 ^{NS}	0,22 ^{NS}	0,89	7,2

** : significativo a 1%; * : significativo a 5% e ^{NS} : não significativo pelo teste F.

Apêndice C – Quadrado médio das fontes de variação para os atributos físicos na profundidade de 0,20-0,25 m, e químicos do solo na profundidade de 0,20-0,30 m, Chopinzinho, PR, 2013.

Variáveis	Manejo	Adubação	Interação	Erro	CV (%)
<i>PRIMEIRA AVALIAÇÃO – Janeiro de 2012</i>					
MiP	76,71**	5,54 ^{NS}	12,70 ^{NS}	5,82	4,8
PT (%)	51,31**	4,84 ^{NS}	8,21 ^{NS}	5,83	3,96
MaP	253**	3,84 ^{NS}	13,44 ^{NS}	5,75	22,15
Ds (Mg m ⁻³)	0,04**	0,001 ^{NS}	0,001 ^{NS}	0,002	4,25
Ks (mm h ⁻¹)	767743**	52973 ^{NS}	63333 ^{NS}	32850	93,11
<i>SEGUNDA AVALIAÇÃO – Julho de 2012</i>					
MiP	15,12*	1,28 ^{NS}	0,43 ^{NS}	2,5	2,91
PT (%)	1,47 ^{NS}	0,92 ^{NS}	5,11 ^{NS}	2,75	2,51
MaP	26,06**	1,4 ^{NS}	4,5 ^{NS}	3,2	15,91
Ds (Mg m ⁻³)	0,004 ^{NS}	0,0009 ^{NS}	0,002 ^{NS}	0,001	3,26
Ks (mm h ⁻¹)	37923**	4127 ^{NS}	4726 ^{NS}	2930	72
pH	0,005 ^{NS}	0,03 ^{NS}	0,04 ^{NS}	0,042	3,59
Matéria Orgânica	35,9 ^{NS}	40,3 ^{NS}	6,5 ^{NS}	49,08	22,75
H+Al	1,21 ^{NS}	0,31 ^{NS}	0,37 ^{NS}	0,3	15,61
Cálcio	1,9 ^{NS}	2,3 ^{NS}	1,4 ^{NS}	2,7	30,71
Magnésio	0,001 ^{NS}	0,18 ^{NS}	0,20 ^{NS}	0,18	17,48
Potássio	15,6 ^{NS}	2804 ^{NS}	196 ^{NS}	1288	78
Fósforo	0,02 ^{NS}	0,4 ^{NS}	0,2 ^{NS}	0,2	51,77
V (%)	64,9 ^{NS}	27,1 ^{NS}	16,8 ^{NS}	22,3	6,86
SB	2,08 ^{NS}	3,09 ^{NS}	2,01 ^{NS}	3,35	23,03
Índice SMP	0,13 ^{NS}	0,04 ^{NS}	0,03 ^{NS}	0,03	2,74
CTC	0,2 ^{NS}	2,7 ^{NS}	2,3 ^{NS}	3,4	16,15

** : significativo a 1%; * : significativo a 5% e ^{NS} : não significativo pelo teste F.

Apêndice D – Quadrado médio das fontes de variação para resistência do solo a penetração nas diferentes profundidades, Chopinzinho, PR, 2013.

Variáveis	Manejo	Adubação	Interação	erro	CV (%)
Profundidade					
<i>PRIMEIRA AVALIAÇÃO – Janeiro de 2012</i>					
0,0 - 0,05 m	8,34**	0,11 ^{NS}	0,21 ^{NS}	0,15	21,57
0,05 - 0,10 m	7,64**	0,08 ^{NS}	0,16 ^{NS}	0,14	14,85
0,10 - 0,15 m	4,09**	0,06 ^{NS}	0,17 ^{NS}	0,15	15,46
0,15 - 0,20 m	1,2**	0,06 ^{NS}	0,14 ^{NS}	0,15	16,01
0,20 - 0,25 m	0,004 ^{NS}	0,04 ^{NS}	0,18 ^{NS}	0,18	17,69
0,25 - 0,30 m	0,37 ^{NS}	0,03 ^{NS}	0,21 ^{NS}	0,19	19,24
0,30 - 0,35 m	0,49 ^{NS}	0,02 ^{NS}	0,25 ^{NS}	0,20	20,49
0,35 - 0,40 m	0,38 ^{NS}	0,04 ^{NS}	0,25 ^{NS}	0,19	21,16
<i>SEGUNDA AVALIAÇÃO – Julho de 2012</i>					
0,0 - 0,05 m	0,27*	0,10 ^{NS}	0,06 ^{NS}	0,05	33,43
0,05 - 0,10 m	2,95**	0,49*	0,30 ^{NS}	0,14	17,76
0,10 - 0,15 m	3,13**	0,14 ^{NS}	0,19 ^{NS}	0,13	13,70
0,15 - 0,20 m	1,78**	0,04 ^{NS}	0,14 ^{NS}	0,08	10,40
0,20 - 0,25 m	0,47**	0,04 ^{NS}	0,04 ^{NS}	0,50	8,31
0,25 - 0,30 m	0,01 ^{NS}	0,04 ^{NS}	0,01 ^{NS}	0,04	8,41
0,30 - 0,35 m	0,003 ^{NS}	0,06 ^{NS}	0,04 ^{NS}	0,04	8,02
0,35 - 0,40 m	0,06 ^{NS}	0,09 ^{NS}	0,04 ^{NS}	0,06	9,79

** : significativo a 1%; * : significativo a 5% e ^{NS} : não significativo pelo teste F.

Apêndice E – Quadrado médio das fontes de variação para as variáveis produção de matéria seca, exportação de nutrientes e teores de proteína bruta (PB) e fibra em detergente neutro (FDN) da Tifton 85, Chopinzinho, PR, 2013.

Variável	Manejo	Adubação	Interação	Erro	CV (%)
Matéria Seca 1° corte	26185733**	13936441**	724736 ^{NS}	380713	13,49
Matéria Seca 2° corte	13230000**	3398400**	878640*	261349	9,04
Matéria Seca 3° corte	1825200**	3741920**	311520 ^{NS}	131139	10,3
Matéria Seca 4° corte	740033 ^{NS}	24328273**	819953 ^{NS}	339007	16,16
Matéria Seca Total	978408 ^{NS}	117612329**	802529 ^{NS}	987746	5,73
Nitrogênio exportado (kg ha ⁻¹)	4505 ^{NS}	144050**	731 ^{NS}	2047	13,79
Fósforo exportado (kg ha ⁻¹)	778,19**	963,69**	12,48 ^{NS}	54,7	12,03
Potássio exportado (kg ha ⁻¹)	15,25 ^{NS}	51675**	5054 ^{NS}	3404	18,61
Cálcio exportado(kg ha ⁻¹)	787,7**	2187,1**	37,1 ^{NS}	73,1	11,44
Magnésio exportado(kg ha ⁻¹)	26,2 ^{NS}	4236**	188 ^{NS}	165	18,47
1° corte PB	1,8 ^{NS}	3,9 ^{NS}	26,3 ^{NS}	12,6	45,77
1° corte FDN	104,8**	2,1 ^{NS}	7,0 ^{NS}	4,7	3,24
3° corte PB	6,0 ^{NS}	217,1**	3,7 ^{NS}	3,7	13,47
3° corte FDN	7,9 ^{NS}	65,2**	6,4*	2,4	2,32
4° corte PB	5,5 ^{NS}	66,7**	9,1 ^{NS}	6,2	22,6
4° corte FDN	0,21 ^{NS}	57,4**	4,4 ^{NS}	5,3	3,69

** : significativo a 1%, * : significativo a 5% e ^{NS} : não significativo pelo teste F.