

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL

**ATIVIDADE ENZIMÁTICA NO SOLO E DINÂMICA DE
CARBONO E NITROGÊNIO EM PASTOS DE CAPIM-
TANZÂNIA SOB ÍNDICES DE ÁREA FOLIAR RESIDUAL**

Victor Costa e Silva

Zootecnista

2014

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL

ATIVIDADE ENZIMÁTICA NO SOLO E DINÂMICA DE
CARBONO E NITROGÊNIO EM PASTOS DE CAPIM-TANZÂNIA
SOB ÍNDICES DE ÁREA FOLIAR RESIDUAL

Victor Costa e Silva

Orientadora: Profa. Dra. Ana Cláudia Ruggieri

Coorientador: Prof. Dr. Leandro Galzerano

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agrárias e Veterinárias – Unesp, Campus de
Jaboticabal, como parte das exigências para a
obtenção do título de Doutor em Zootecnia

2014

S586a Silva, Victor Costa
Atividade enzimática no solo e dinâmica de carbono e nitrogênio em pastos de capim-tanzânia sob índices de área foliar residual. / Victor Costa e Silva. -- Jaboticabal, 2014
iv, 90 p.; 28 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2014
Orientadora: Ana Cláudia Ruggieri
Banca examinadora: Leandro Martins Barbero, Gabriel Maurício Peruca de Melo, Euclides Braga Malheiros, Liziane de Figueiredo Brito
Bibliografia

1. Fluxo de CO₂. 2. Enzimas. 3. Serrapilheira. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 636.084.22:636.39

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

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: ATIVIDADE ENZIMÁTICA NO SOLO E DINÂMICA DE CARBONO E NITROGÊNIO EM PASTOS DE CAPIM-TANZÂNIA SOB ÍNDICES DE ÁREA FOLIAR RESIDUAL

AUTOR: VICTOR COSTA E SILVA

ORIENTADORA: Profa. Dra. ANA CLAUDIA RUGGIERI

CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. LEANDRO GALZERANO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTOR EM ZOOTECNIA , pela Comissão Examinadora:


Profa. Dra. ANA CLAUDIA RUGGIERI

Departamento de Zootecnia / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal


Prof. Dr. LEANDRO MARTINS BARBERO

Universidade Federal de Uberlândia / Uberlândia/MG


Prof. Dr. GABRIEL MAURÍCIO PERUCA DE MELO

Universidade Camilo Castelo Branco / Descalvado/SP


Prof. Dr. EUCLIDES BRAGA MALHEIROS

Departamento de Ciências Exatas / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal


Profa. Dra. LIZIANE DE FIGUEIREDO BRITO

Departamento de Zootecnia / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Data da realização: 03 de novembro de 2014.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

VICTOR COSTA E SILVA - nascido no dia 22 de dezembro de 1983, em Anápolis-GO, filho de Daniel Cândido da Silva Júnior e Leila Maria Coelho Costa. Em 2002, ingressou no curso de Zootecnia na Universidade Estadual de Goiás, UEG, em São Luís de Montes Belos-GO, finalizando com a colação de grau em fevereiro de 2007. Em 2009 ingressou no Mestrado do Programa de Pós-graduação em Zootecnia da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, UNESP, Câmpus de Jaboticabal-SP, na área de forragicultura e pastagem, concluindo o curso em fevereiro de 2011. Em março de 2011 iniciou o Doutorado em Zootecnia na mesma instituição, na área de forragicultura e pastagem. No período de março a outubro de 2013 realizou estágio na Universidade da Flórida-UF, Departamento de Agronomia, em Gainesville-Flórida, Estados Unidos, sob orientação do Prof. Dr. Lynn E. Sollenberger.

“Quando se navega sem destino, nenhum vento é favorável.”
(Sêneca)

DEDICO

*A Deus, em primeiro lugar, por me manter vivo e com saúde, firme
no meu objetivo.*

Aos meus pais, Leila e Daniel, por ensinar-me a viver.

A minha irmã, Carolina.

OFEREÇO

*A minha esposa, Mariana, pela paciência em me esperar e por todo
o amor recebido. Parte desta conquista também é sua!!!*

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela oportunidade de poder viver as conquistas da vida.

A toda minha família, que sempre teve alguma palavra de incentivo. Principalmente a minha mãe, Leila, pelo carinho e cuidado, sempre com uma palavra de amor. Ao meu pai, Daniel, por todos os conselhos e ensinamentos, por acreditar que seria possível chegar aonde cheguei.

A minha amada esposa, Mariana, por sempre estar ao meu lado com uma palavra de apoio e carinho. Obrigado por tudo! Te amo!

A minha orientadora, Profa. Ana Cláudia Ruggieri, pelas oportunidades de trabalhar no mestrado e doutorado na sua equipe. Meu muito obrigado!!

Ao Prof. Euclides Braga Malheiros, pela grande paciência com as análises estatísticas durante a confecção da tese, qualificação e defesa. Obrigado por tudo!!!

Ao Prof. Leandro Martins Barbero, por prontamente aceitar compor a banca de defesa, além das valiosas colocações na correção da tese.

Ao Prof. Gabriel Maurício Peruca de Melo, pelas contribuições durante a arguição na defesa da tese.

Ao Prof. Sollenberger, por me acolher como orientando durante o estágio sanduíche na University of Flórida.

Ao Prof. Carlos Guilherme Silveira Pedreira e Dr. Carlos Augusto de Miranda Gomide, pelos ensinamentos e ótima amizade durante o período de estágio sanduíche.

Ao Marcelo "tchê", pela amizade cultivada durante o estágio sanduíche.

Ao meu grande amigo e coorientador, Leandro Galzerano. Obrigado pelos ensinamentos, verdadeira amizade e companheirismo. Também pelos convites para comer pizza toda semana!

A Eliane Morgado pela amizade! Obrigado amiga!

Ao amigo Wilton Ladeira, sempre presente!

Aos companheiros de experimento, Nailson, Fernando e Naomi. Formamos uma ótima equipe!!

A todos os amigos da forragicultura: André Valente, Gregory, João Paulo, Mariana, Estella, Liziane, Elisamara, Paola, Abmael e todos os amigos não citados aqui. Meu muito obrigado!

A Unesp - Jaboticabal, pela oportunidade de trabalho.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudos.

A Capes, pela bolsa concedida durante o estágio sanduíche.

A todos o meu mais sincero... "Muito Obrigado".

Sumário

	Página
RESUMO	iv
SUMMARY	vi
CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS	1
1. Introdução	1
2. Revisão de Literatura	2
2.1 Capim-Tanzânia	2
2.2 Manejo da pastagem	3
2.3 Estoques de carbono e nitrogênio no solo	4
2.4 Composição química da serrapilheira	5
2.5 Emissão de CO₂ no solo	7
2.6 Atividade enzimática no solo	10
3. OBJETIVOS	12
4. REFERÊNCIAS	12
CAPÍTULO 2 – Níveis de carbono e nitrogênio no solo e composição química da serrapilheira em pastos de capim-tanzânia sob índices de área foliar residual	20
RESUMO	20
1. INTRODUÇÃO	21
2. MATERIAL E MÉTODOS	22
2.1 Local e área experimental	22
2.2 Dados climáticos	23
2.3 Solo da área e período experimental	24
2.4 Tratamentos e delineamento experimental	25
2.5 Animais experimentais e método de pastejo	25
2.6 Monitoramento das condições experimentais	26
2.7 Alturas do dossel no pré e pós-pastejo	26
2.8 Determinação da massa de forragem	27

2.9 Composição química da serrapilheira.....	28
2.10 Estoques de carbono e nitrogênio no solo.....	29
2.11 Análise Estatística.....	30
3. RESULTADOS.....	30
3.1. Carga animal, produção de massas secas de colmo, folha, material morto e total.....	30
3.2 Variáveis relacionadas à serrapilheira	31
3.3 Níveis de carbono, nitrogênio e estoques de carbono e nitrogênio do solo .	36
4. DISCUSSÃO	37
5. CONCLUSÃO	43
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43
CAPÍTULO 3 – Emissão de CO₂ e atividade enzimática em solos de pastos de capim-tanzânia sob índices de área foliar residual.....	49
RESUMO.....	49
1. INTRODUÇÃO	50
2. MATERIAL E MÉTODOS	52
2.1 Local e área experimental.....	52
2.2 Dados climáticos	52
2.3 Solo da área e período experimental	53
2.4 Tratamentos e delineamento experimental	54
2.5 Animais experimentais e método de pastejo.....	55
2.6 Monitoramento das condições experimentais.....	55
2.7 Alturas do dossel no pré e pós-pastejo	56
2.8 Determinação da massa de forragem.....	56
2.9 Emissão de CO ₂ no solo	57
2.10. Atividade enzimática	58
2.10.1. Atividade da celulase.....	59
2.10.2. Atividade da arilsulfatase.....	59

2.10.3. Atividade da desidrogenase	59
2.11 Análises estatísticas	59
3. RESULTADOS.....	60
3.1. Emissão de CO₂ e temperatura do solo	61
3.2. Atividade enzimática do solo	62
4. DISCUSSÃO	64
5. CONCLUSÃO	69
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69

ATIVIDADE ENZIMÁTICA NO SOLO E DINÂMICA DE CARBONO E NITROGÊNIO EM PASTOS DE CAPIM-TANZÂNIA SOB ÍNDICES DE ÁREA FOLIAR RESIDUAL

RESUMO – A produção de ruminantes em pastagens é apontada como grande contribuinte de emissões de gases termogênicos ao meio ambiente. Porém, estudos demonstram que as pastagens, se bem manejadas, podem se tornar mitigadoras destes gases. Com isso, o objetivo desse estudo foi quantificar os estoques de carbono e nitrogênio do solo, composição química da serrapilheira, emissão de CO₂, temperatura e atividade enzimática em solos de pastos de capim-tanzânia submetidos a diferentes intensidades de pastejo intermitente. O experimento foi conduzido no setor de Caprinocultura da UNESP – Jaboticabal no período de dezembro de 2010 a maio de 2012. Os tratamentos consistiram de três índices de área foliar residual (IAFr) (0,8; 1,6; 2,4), em medidas repetidas no tempo com quatro blocos utilizados para as avaliações, totalizando 12 unidades experimentais. Os IAFr foram medidos com o auxílio do aparelho analisador de dossel. O critério adotado para entrada dos animais foi 95% de interceptação luminosa (IL), permanecendo até que o IAFr alvo fosse alcançado. As variáveis avaliadas foram: produção de massa de forragem, composição química da serrapilheira, estoques de carbono e nitrogênio no solo, emissão de CO₂, temperatura e atividade enzimática no solo, onde avaliou-se as enzimas celulase, arilsulfatase e desidrogenase. Nas variáveis de composição química da serrapilheira, foram avaliados os teores de matéria orgânica (MO), carbono (C), nitrogênio (N), relação carbono:nitrogênio (C:N), fósforo (P) e lignina. Os pastos de capim-tanzânia foram influenciados pelo aumento do IAFr na variável massa seca de colmo (MSC) no pré pastejo ($P=0,0353$) e no pós pastejo a massa seca de folhas (MSF) aumentou com a elevação dos IAFr ($P=0,0214$). Para a composição química da serrapilheira apenas o fósforo (P) apresentou interação ($P<0,05$) entre os IAFr e dias de incubação. Para as demais variáveis não houve efeito dos tratamentos, apenas o efeito dos tempos de incubação foram significativos ($P<0,05$), com redução nos teores de MO, P, relação C:N e aumento no teor de N e lignina. Os teores e os estoques de C e N do solo não tiveram

efeito significativo ($P > 0,05$) para os IAFr, onde apenas as profundidades avaliadas foram significativas ($P < 0,05$), sendo maiores na superfície e diminuindo em profundidade. A relação C:N não foi influenciada pelos IAFr e profundidades de avaliação. Os IAFr avaliados não interferem na dinâmica de ciclagem de nutrientes e estoques de C e N no solo. As emissões de CO_2 e temperatura no solo não foram influenciadas pelos tratamentos ($P > 0,05$), porém, nos meses mais chuvosos e quentes houve aumento das emissões de CO_2 e temperatura no solo ($P < 0,001$). No solo, observou-se efeito dos IAFr apenas para celulase ($P = 0,0435$). Para celulase, desidrogenase e arilsulfatase houve efeito das estações do ano ($P < 0,001$). As variações climáticas através das mudanças nas estações do ano exercem efeito determinante no efluxo de CO_2 e temperatura no solo, bem como na atividade enzimática.

Palavras-chave: atividade biológica, enzimas, fluxo de dióxido de carbono, liteira, *Panicum maximum*.

ENZYME ACTIVITY IN SOIL AND DYNAMICS OF CARBON AND NITROGEN IN PASTURES OF TANZÂNIA GRASS UNDER RESIDUAL LEAF AREA INDEX

SUMMARY- The production of ruminants under grazing has been identified as major contributors to emissions of environmentally thermogenic gases. However, studies show that pasture, if well managed, can become mitigating these gases. Therefore, the objective of this study was quantify the stocks of carbon, nitrogen soil, the chemical composition of litter, CO₂ emission, temperature and enzyme activity in soil of pastures of tanzaniagrass subjected to different intensities of rotational grazing. The experiment was conducted at the Goat Breeding UNESP - Jaboticabal from December 2010 to May 2012. The treatments consisted of three levels of residual leaf area index (rLAI) (0.8, 1.6, 2.4) in split plot arrangement in the time with four blocks used for the tests, totaling 12 experimental units. The rLAI were measured through the canopy analyzer. The criterion for entrance of animals used was 95% (LI), remaining until the target was reached rLAI. The variables evaluated were: production of herbage mass, chemical composition of litter, carbon stocks and soil nitrogen, CO₂, temperature and enzyme activity in the soil, which evaluated the enzymes cellulase, arylsulfatase and dehydrogenase. The pastures of tanzania grass were affected by increasing rLAI dry weight of stem (DHS) variable pre grazing (P=0.0353) and after grazing the dry mass of leaves (DML) increased with rising rLAI (P=0.0214). In the variable chemical composition of litter, was evaluated organic matter (OM), carbon (C), nitrogen (N), relation carbon:nitrogen (C:N), phosphorus (P) and lignin. Only phosphorus (P) showed interaction (P <0.05) between rLAI and days of incubation. For the other variables there was no effect of treatments, only incubation times were significant (P<0.05). The contents of C and N and soil C stocks and soil N had no significant effect (P> 0.05) for rLAI where only evaluated depths was significant (P <0.05), being higher in surface and decreasing in depth. The C: N ratio was'nt affected by rLAI depths and evaluation. The rLAI evaluated not affect the dynamics of nutrient cycling and stocks of C and N in the soil. Emissions of CO₂ and temperature in the soil were not affected by treatments (P> 0.05), however, the seasons were significant (P <0.001). For enzyme activity in the soil

was observed only for IAFr effect of cellulase ($P = 0.0435$). In all enzymes studied was the effect of seasons ($P < 0.001$). Climatic variations through changes in the seasons exert a decisive effect on CO_2 efflux and soil temperature, and enzyme activity.

Keywords: biological activity, enzymes, dioxide carbon flow, litter, *Panicum maximum*.

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

1. Introdução

Com o aumento da população mundial, houve a necessidade de se produzir mais alimentos. Com isso, elevou-se o número de áreas desmatadas para conversão em terras agricultáveis, contribuindo para o aumento da emissão de gases tóxicos ao meio ambiente, dentre eles o dióxido de carbono (CO_2). Assim, cada vez mais estudos avaliando a dinâmica de produção desse gás do solo para a atmosfera se tornam mais importantes.

O intuito destes estudos é demonstrar a capacidade mitigadora dos sistemas agropecuários, em particular as pastagens, frente ao cenário de produção mundial, ou seja, demanda crescente por alimento. Por meio de sistemas de manejo adequados (intensidade de desfolhação) e com uso de gramíneas mais eficientes em estocar C-CO_2 via fotossíntese e decomposição de material (liteira) de melhor qualidade, as pastagens podem se tornar grandes imobilizadores de C.

A fotossíntese é a base do crescimento vegetal e é dependente da área e eficiência do tecido foliar da planta. Estudos sobre estratégias de pastejo com plantas forrageiras têm se concentrado na interceptação de luz, bem como no principal aparato captador de luz, a área foliar, refletindo diretamente na forma, distribuição e mobilidade em relação a radiação recebida (T MANNETJE, 2002).

Assim, o manejo das pastagens, através de trabalhos envolvendo o conceito de índice de área foliar residual (IAFr), pode ser uma ferramenta eficaz para condução de um sistema dinâmico, minimizando perdas de nutrientes e por consequência, melhorando a eficiência do uso de fertilizantes (orgânicos ou químicos) por meio da otimização da ciclagem de nutrientes.

Considerando-se pastagens já estabelecidas e bem manejadas, o equilíbrio na ciclagem de nutrientes pode ser eficiente no processo de estocagem de carbono e na relação carbono/nitrogênio, através da imobilização de C pelo sistema radicular das plantas. Quando há a condição de superpastejo, existe perda considerável de

meristemas apicais, e com isso, a redução na capacidade de rebrotação foliar (JANTALIA et al., 2006). Nessa situação, o crescimento radicular é prejudicado, pois boa parte do carbono recém-fotossintetizado é alocado preferencialmente nas folhas (LEMAIRE, 1997). Por outro lado, quando há maior produção de folhas, haverá maior deposição de resíduos de melhor qualidade no solo e acúmulo de reservas orgânicas nas raízes. Alguns trabalhos mostram que pastagens mais produtivas promovem acúmulo de C no solo devido a maior entrada de resíduos (TARRÉ et al., 2001), comprovando a importância do correto manejo das pastagens (JANTALIA et al., 2006).

Estudos têm sido realizados comparando mudanças no sistema solo-planta-animal em ecossistemas distintos (florestas, diferentes biomas, etc.). Porém, são poucos os trabalhos conduzidos avaliando o efeito de manejos de pastejo utilizando-se pastos de capim-tanzânia sobre a ciclagem de nutrientes e dinâmica de carbono e nitrogênio no solo, envolvendo emissão de CO₂ e atividade enzimática no solo.

2. Revisão de Literatura

2.1 Capim-Tanzânia

A gramínea forrageira *Panicum maximum* é conhecida mundialmente pela alta produtividade, qualidade e adaptação a diferentes condições edafoclimáticas. A espécie é uma das forrageiras tropicais, propagadas por sementes, mais produtivas existentes. Destaca-se pela abundante produção de folhas, porte elevado e alta aceitabilidade pelos animais das mais variadas categorias e espécies de ruminantes e equídeos (JANK et al., 2010).

A cv. Tanzânia foi lançada em 1990, no Centro de Pesquisa de Gado de Corte EMBRAPA/ CNPQC. É uma forrageira cespitosa, perene, atinge cerca de 1,30 m de altura, com folhas decumbentes, colmos sem cerosidade, inflorescência tipo panícula e sistema radicular profundo. Apresenta teores de proteína bruta em torno de 9 a 10,5%,

podendo chegar a 14% durante as estações chuvosas e digestibilidade *in vitro* da matéria seca de 48 a 53% no mesmo período (VELÁSQUEZ et al., 2010).

Com os capins mombaça e tanzânia, Carnevalli et al., (2006) e Barbosa et al., (2007), respectivamente, observaram que a máxima taxa de acúmulo de forragem em pastos sob lotação intermitente estava relacionada ao ponto em que o dossel forrageiro interceptava 95% da radiação incidente. A quantidade de massa produzida variou de 4300 a 8900 kg MS/ha e 4800 a 5100 kg MS/ha na condição de pré pastejo, para os autores citados acima, respectivamente. A partir desse ponto, os autores observaram modificação na dinâmica de produção de forragem caracterizada pela elevação das taxas de senescência, acúmulo de colmo e redução na relação de lâminas foliares/colmo. Nesta condição de produção, a qualidade do material decomposto será de baixa qualidade, prejudicando o fluxo de nutrientes no solo.

2.2 Manejo da pastagem

Segundo o conceito clássico de Watson (1947), o índice de área foliar (IAF) pode ser definido como a área de uma face das folhas, dividida pela área de solo que ocupa, sendo o principal determinante da interceptação e utilização da radiação solar pelas plantas. Com isso, a taxa de crescimento da planta acontece em função do IAF e eficiência fotossintética das folhas. Com avanço da idade da planta o IAF aumenta, elevando sua capacidade de interceptar a luz incidente.

O IAF no qual o dossel atinge a máxima taxa de acúmulo de folhas é chamado de IAF ótimo. O IAF crítico é definido como sendo o momento em que 95% da luz incidente é interceptada pelo dossel forrageiro. Dessa forma, se o IAF continuar a se elevar, haverá sombreamento das folhas localizadas na base do dossel, diminuindo a eficiência do processo de fotossíntese (BROUGHAM, 1958).

Pedreira et al., (2007) afirmaram que estratégias de pastejo estão diretamente ligadas às características de produção da planta forrageira, e a utilização da interceptação luminosa como referência de acompanhamento do processo de

rebrotação, permite que a forragem seja colhida (por corte ou pastejo) sempre em uma mesma condição fisiológica.

As características do dossel forrageiro são dinâmicas, podendo ser influenciadas pela temperatura, umidade, e quantidade de luz por exemplo. Essas mudanças podem alterar a arquitetura e composição botânica do pasto, modificando as características fotossintéticas (ângulo foliar, tamanho de folha, etc). Embora haja essas possibilidades, o conceito de IAF pode ser uma ferramenta eficaz para maximizar a produção de forragem e o aprimoramento de práticas de manejo (BROWN; BLASER, 1968).

2.3 Estoques de carbono e nitrogênio no solo

A taxa de estoque de carbono orgânico do solo depende da estrutura e textura do solo, precipitação pluviométrica, sistema de produção e manejo do solo. Estratégias para aumentar o estoque de carbono incluem também a recuperação do solo e florestas, técnicas de plantio direto, dentre outras. O sequestro de carbono em solos agricultáveis tem o potencial de compensar de 0,4 a 1,2 gigatoneladas de C por ano, ou de 5 a 15% do total equivalente em emissão de C por combustíveis fósseis (LAL, 2004).

A análise dos estoques de C permite avaliar a condição do solo como fonte ou depósito de C-CO₂ atmosférico (CORAZZA et al., 1999). Feigl et al., (1995) realizaram estudo avaliando a concentração de C na camada superficial (0 a 10 cm) do solo sob pastagens em comparação com floresta nativa adjacente e observaram aumento de 12 g C kg⁻¹ no solo sob floresta, para, 12, 17, 15, 14, 16 e 21 g C kg⁻¹ no solo sob pastagens com idades de 2, 4, 8, 11, 19 e 80 anos, respectivamente. Na região do Cerrado, as pastagens implantadas em substituição à vegetação nativa promoveram a manutenção dos estoques de matéria orgânica do solo (MOS), e aquelas submetidas à boas práticas de manejo permitiram maior estoque de C no solo do que sob a vegetação original (CARDOSO et. al, 2010).

Assim como o C, o nitrogênio (N) é um elemento relevante nos estudos de MOS, sendo um dos nutrientes com dinâmica mais ativa na ciclagem de nutrientes

(D'ANDRÉA et al., 2004), e essencial no correto funcionamento dos ecossistemas, principalmente em atividades agrícolas (KHUSH, 2001). Segundo Conant et al. (2005), alguns tipos de utilização do solo que alteram os níveis de C resultam também em mudanças nas quantidades de N, e o manejo das pastagens pode ter papel fundamental no C global e na ciclagem de N (CONANT et. al., 2005).

O uso correto das pastagens geralmente envolve práticas que não perturbam o solo (revolvimento da terra), aumentando as entradas de C e N no sistema através do material que será decomposto e favorecendo o acúmulo de MOS. Com o aumento da MOS, também aumenta a mineralização, disponibilizando maior quantidade de N às plantas. No processo de mineralização da MOS, através das reações de amonificação e nitrificação, em média, de 2 a 5% do N orgânico são transformados por ano. Em pastagens, a forma amoniacal se destaca devido às substâncias excretadas pelas raízes das gramíneas, inibindo a nitrificação, em detrimento dos menores valores de pH que ocorrem nessas condições (D'ANDREA, et al., 2004).

Estudos onde são avaliados os métodos de pastejo e os reflexos na otimização da mineralização de N no solo são importantes, pois podem garantir a sustentabilidade do sistema a longo prazo, e conseqüentemente aumentar os estoques de C e N no solo.

2.4 Composição química da serrapilheira

O manejo do material em decomposição no solo é importante ferramenta em sistemas de produção, e é considerado essencial para a fertilidade do solo por atuar em aspectos de natureza química, física e biológica. Acréscimos em 1% no teor de matéria orgânica do solo através de serrapilheira de melhor qualidade podem resultar em aumentos de 20 a 70 kg ha⁻¹ na produção de trigo, 10 a 50 kg ha⁻¹ na produção de arroz e de 30 a 300 kg ha⁻¹ na produção de milho (LAL, 2006).

A serrapilheira, que pode ser definida como a camada de material composta pela parte aérea senescente das plantas durante a estação de crescimento, exerce

influência contínua sobre o fornecimento de nutrientes para as plantas (DUBEUX Jr. et al., 2006). O processo de decomposição dos resíduos culturais das plantas de cobertura é realizado essencialmente pelos microrganismos heterotróficos do solo, que dele retiram o C e os nutrientes necessários à produção de energia e às reações envolvidas na síntese celular. Simultaneamente à assimilação do C, a população microbiana necessita assimilar N para a produção de compostos nitrogenados, principalmente enzimas (AITA; GIACOMINI, 2006).

A importância na qualidade da serrapilheira sobre a taxa de decomposição e a influência na fertilidade solo tem sido reconhecida desde o início da agricultura, comportando-se de maneira diferenciada com a mudança geográfica e tipos de microrganismos (SILVA et al., 2009). O clima, composição química da serrapilheira e a disponibilidade de nitrogênio externo (adubação) interagem para a determinação da decomposição e dinâmica da ciclagem de nutrientes no solo.

Os parâmetros de qualidade da serrapilheira, particularmente os teores de lignina e N, frequentemente estão correlacionados com as taxas de perda de massa do material em decomposição, de forma positiva ou negativa. Maiores taxas de lignina podem imobilizar o N através de ligações químicas, dificultando a ação dos microrganismos. (KNORR et al., 2005, BONANOMI, et al., 2010).

O baixo nível de liberação de nutrientes para a atividade microbiana frequentemente está associado ao início da degradação das pastagens. Este processo normalmente correlaciona-se com a diminuição de N disponível devido ao acúmulo de serrapilheira de baixa qualidade, particularmente em pastagens com gramíneas C4, e conseqüentemente, pelo aumento da imobilização do N disponível ao ataque dos microrganismos (DUBEUX JR et al., 2007).

Em estudo avaliando o efeito direto de intensidades de pastejo sobre as características químicas da serrapilheira em pastos de capim Tifton 85, Liu et al., (2011) concluíram que os diferentes níveis de adubação nitrogenada influenciaram a deposição e decomposição de serrapilheira, com efeito na ciclagem de nutrientes no solo. Porém, estes mesmos autores comentaram a necessidade de novos estudos

investigando o efeito das práticas de manejo do pastejo adotado sob as variáveis relacionadas à serrapilheira, independente do tipo de adubação empregada.

Segundo SILVA et al., (2004), em geral, as pastagens brasileiras possuem histórico de manejo inadequado, caracterizado por baixas adubações de estabelecimento e de manutenção, aliadas a altas taxas de lotação. Estas condições não contribuem para o aumento do acúmulo de C no solo, através da deposição de serrapilheira com maior quantidade de compostos recalcitrantes. Assim sendo, é importante o manejo correto das pastagens, visando a deposição de material de melhor qualidade no solo e a maximização do aparato fotossintético da planta (folha).

Dubeux Jr. et al., (2007) enfatizaram a importância não só da quantidade, mas da qualidade do material que será decomposto no solo. Quanto melhor for o material em decomposição, mais nutrientes serão liberados no sistema de ciclagem de nutrientes. Com isso, haverá mais N à disposição das plantas e maior quantidade de C estocado no solo, porém, com baixa relação C/N, que pode ser considerado um dos parâmetros de qualidade do solo. Através do correto manejo das pastagens, com o uso do IAFr, é possível melhorar a qualidade da serrapilheira, refletindo diretamente nos níveis de matéria orgânica do solo.

2.5 Emissão de CO₂ no solo

O sequestro de carbono pelas pastagens pode ser usado para mitigar parte das emissões dos gases de efeito estufa. Para isso, mudanças são necessárias no uso da terra onde grandes quantidades de CO₂ são emitidos, como em desmatamentos, queimadas e manejos inadequados do solo. Um cuidado especial é necessário, visando a preservação e restauração dos solos e a matéria orgânica. Em associação a estas medidas, também são importantes outros métodos de mitigação, como o uso correto de fertilizantes e diminuição da queima de combustíveis fósseis em pastagens. Essas atitudes podem conduzir a uma substancial redução nas emissões dos gases termogênicos (dentre eles o CO₂) ao meio ambiente por unidades de área e produto

animal (SOUSSANA et al., 2010). O monitoramento das emissões desse gás no solo tem a vantagem de detectar imediatamente os efeitos de práticas de manejo sobre a perda de C no solo (TEIXEIRA et al., 2013).

O efluxo de CO₂ do solo para a atmosfera ocorre principalmente por dois processos biológicos: a decomposição de resíduos orgânicos e a respiração de organismos e sistema radicular das plantas. No solo, o CO₂ movimenta-se por meio da difusão radicular, responsável por 20 % desse aumento na concentração de CO₂, e os 80% restantes são oriundos da atividade de uma região de maior concentração para outra de menor concentração, e, por fluxo de massa, movendo-se junto com o ar ao qual está misturado para a atmosfera (CARVALHO et al., 2010a).

Carvalho et al. (2010b), em estudo com mudanças de uso da terra na Amazônia e Cerrado, obtiveram dados que demonstram a capacidade das gramíneas em acumular C, diminuindo a quantidade de C-CO₂ liberado para atmosfera na conversão de mata nativa em pastagens. Os autores observaram que as pastagens cultivadas permitiram o acúmulo de 0,46 Mg C ha⁻¹ano⁻¹. Já as pastagens estabelecidas em solos de baixa fertilidade natural perderam C, com emissão de 0,15 a 1,53 Mg C ha⁻¹ano⁻¹, em áreas não degradadas e degradadas, respectivamente. Os autores observaram ainda que na conversão de áreas de pastagens não degradadas para plantações de soja e sorgo, houve liberação de 1,44 Mg C ha⁻¹ano⁻¹, superando a quantidade de C liberada pelas pastagens não degradadas. Neste mesmo estudo, os pesquisadores observaram que as áreas utilizadas no sistema de integração lavoura-pecuária funcionaram como dreno de C, com taxas de acúmulo de 0,82 a 2,58 Mg C ha⁻¹ano⁻¹. Os resultados demonstraram que a conversão de vegetação nativa para áreas de pastagens podem fazer com que o solo funcione como fonte ou dreno de CO₂ para a atmosfera, dependendo do tipo de manejo empregado na terra.

Cerca de 30% do C dos solos mundiais encontram-se nos solos dos trópicos, onde existe grande pressão sobre as terras cultivadas e florestas nativas. Se estas florestas forem destruídas contribuirão duplamente para o aumento de C atmosférico, pois haverá redução na captação de C-CO₂ e aumento na sua liberação via maior oxidação. Como o solo desempenha função crucial no ciclo do carbono, as

possibilidades de manejá-lo adequadamente para torná-lo dreno de C e não fonte são atualmente muito enfatizadas (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

As variáveis climáticas também influenciam diretamente o fluxo de CO₂ para a atmosfera, e os principais condicionantes são a temperatura (solo e atmosfera) e a umidade do solo. Acréscimos na temperatura da atmosfera podem elevar exponencialmente a taxa de respiração do solo, elevando a produção de CO₂ pelos microrganismos do solo. Em razão de as massas de ar que circulam no planeta possuírem diferentes temperaturas, o fluxo de CO₂ no globo terrestre também é diferenciado, onde em regiões mais quentes as emissões serão superiores (CARVALHO et al., 2010a).

Galzerano et al., (2014), avaliaram a emissão de CO₂ no solo, características do dossel e o acúmulo de biomassa em pastos de capim-Pensacola sob frequências de desfolhação e observaram oscilações nas emissões de CO₂ durante o período de avaliação em virtude do aumento da precipitação e diminuição da temperatura do solo. Os autores chegaram a conclusão que a umidade do solo, temperatura e emissão de CO₂ estão mais associadas às condições ambientais, ou seja, diretamente ligado aos meses de avaliação que às frequências de desfolhação impostas aos dosséis.

As plantas clorofiladas e bactérias quimiossintetizantes tem papel fundamental na absorção do CO₂ atmosférico, que é utilizado para a formação de compostos orgânicos. Parte do CO₂ volta diretamente à atmosfera pela respiração das plantas. Durante o dia, elas absorvem CO₂ e libera O₂ por meio da fotossíntese, mas durante a noite deixam de realizar fotossíntese e passam a dar contribuição para o aumento da concentração em seu processo respiratório (absorve O₂ e libera CO₂). Porém, o equilíbrio não é perfeito e o resultado final depende de outros processos que controlam a produção ou a absorção líquida de CO₂. Como exemplo, tem-se as queimadas que estão relacionadas com aumento na concentração desse gás e o manejo correto das pastagens com a diminuição (SILVA JR. et al., 2004).

A contribuição da agropecuária no efeito estufa antropogênico pode ser minimizada, e o desenvolvimento de sistemas de manejo do solo e das pastagens com capacidade para mitigar as emissões de CO₂ uma importante etapa (BAYER et al.,

2000). Através de estudos com intensidades de pastejo, pode-se identificar o momento em que as pastagens aumentem a captura de CO₂ em relação à sua liberação, onde haverá a deposição de resíduos (serrapilheira) com maior taxa de decomposição, elevando os níveis de matéria orgânica do solo.

2.6 Atividade enzimática no solo

Nas células vivas, as reações químicas como aquelas que causam a quebra de moléculas orgânicas, são catalisadas pelas enzimas, com alta especificidade funcional. As enzimas do solo são produzidas por micro e macrorganismos, incluindo plantas e animais, sendo a biomassa microbiana a fonte primária. As enzimas têm participação essencial nos processos relacionados à qualidade do solo e como são sintetizadas, principalmente, pelos organismos que nele crescem, as condições que favorecem a atividade da biota como a adubação orgânica também favorecem a atividade enzimática, que muitas vezes se relaciona positivamente com a produtividade ou com a qualidade do solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Por essa razão e por serem muito sensíveis a mudanças no manejo do solo, as enzimas são consideradas boas indicadoras de qualidade (TAYLOR et al., 2002)

Por atuarem sobre diferentes substratos, as enzimas são classificadas em quatro grupos distintos: oxirredutases, transferases, hidrolases e liases (MELO et al., 2010). A desidrogenase é a maior representante da classe das oxirredutases. Dentre todas as enzimas presentes no solo, ela é importante por ter grande correlação com a atividade microbiológica do solo e por ocorrer intracelularmente em todas as células vivas dos microrganismos (GU et al., 2009, SALAZAR et al., 2011). Além disso, a desidrogenase está intimamente ligada aos processos microbianos de oxirredução. Outra característica dessa enzima é não se acumular extracelularmente no solo, ou seja, somente em organismos vivos e ativos.

A avaliação da qualidade do solo através do monitoramento dos níveis de desidrogenase também se mostra eficiente quando utiliza-se fertilizantes orgânicos e

inorgânicos, melhorando as características físicas e químicas do solo, através do aumento da atividade microbiana em resposta à fertilização e níveis adequados de água no solo (SHANG et al., 2012). Em relação à água, sua falta prejudica a atividade microbiana, refletindo na atividade de desidrogenase (WALL; HEISKANEN, 2003, UHLIROVA et al., 2005, GU et al., 2009), pois o metabolismo e a sobrevivência dos microrganismos do solo são influenciados pela disponibilidade de água e conseqüentemente, a baixa disponibilidade inibe o desenvolvimento dos microrganismos, refletindo em menores níveis desta enzima.

No grupo das hidrolases encontra-se a celulase, enzima bastante estudada por catalisar a hidrólise da celulose, liberando celobiose e glicose. A celulase, assim como outras enzimas, é parcialmente responsável pela taxa e curso de decomposição da serrapilheira, pois estão envolvidas no ciclo do carbono (PANCHOLY; RICE, 1973). O aumento da atividade desta enzima sugere que houve a entrada de substrato enriquecido em celulose no agrossistema, causando síntese de novas moléculas de celulase (MARCHIORI JR.; MELO, 1999), sendo um bom indicativo da qualidade do material em decomposição.

Em estudo avaliando a atividade de celulase em solos de áreas sob pastagens por 20 anos (*Panicum maximum*), sob pastagens por 25 anos (*Brachiaria decumbens*) e cultivo do algodoeiro por 10 anos, Marchiori Jr. e Melo (1999) observaram que a atividade de celulase foi maior em pastagens de *Brachiaria decumbens* quando comparada à mata natural. O aumento foi de 47 e 74% para as profundidades de 0-10 e 10-20 cm, respectivamente. Esses resultados demonstram que em pastagens bem manejadas o acompanhamento dos níveis de celulase no solo pode ser bom indicativo da qualidade do material em decomposição (serrapilheira), conseqüentemente, com efeitos positivos ao aumento da MOS.

Outro grupo de enzimas estudadas são as sulfatases, da qual faz parte a arilsulfatase. Elas hidrolisam ésteres de sulfato orgânico, sendo detectadas em plantas, animais e microrganismos. Segundo Bandick et al., (1999), a arilsulfatase é importante no processo de ciclagem do enxofre, liberando SO_4 , disponível para as plantas. Além disso, ela pode ser um indicador indireto da presença de fungos no solo, uma vez que

bactérias não apresentam éster de sulfato (substrato desta enzima) em sua composição. Pinto e Nahas (2002) avaliaram a atividade e população microbiana envolvida nas transformações do enxofre em solos com diferentes vegetações e encontraram correlação positiva entre a atividade de arilsulfatase e o teor de S-orgânico e S-total.

As enzimas podem responder às mudanças no manejo das pastagens e, conseqüentemente, do solo, de forma mais rápida que outras variáveis estudadas. Os estudos com estas proteínas podem ser úteis para monitorar as tendências (positivas ou negativas) no solo ao longo do tempo. Isso eliminaria problemas como mudanças sazonais e diferenças inerentes à atividade agrícola, sendo possível o aproveitamento do potencial das atividades enzimáticas como indicadores precoces de alterações induzidas pelo manejo do solo.

3. OBJETIVOS

Com base no exposto, o presente estudo teve por objetivo quantificar os efeitos dos diferentes índices de área foliar residual em pastos de capim-tanzânia sobre os estoques de carbono e nitrogênio do solo, composição química da serrapilheira, efluxo de CO₂, assim como atividade enzimática do solo.

4. REFERÊNCIAS

AITA, C., GIACOMINI, S.J. Plantas de cobertura de solo em sistemas agrícolas. In: ALVES, B.J.R., URQUIAGA,S., *et. al.* **Manejo de sistemas agrícolas**. Embrapa – Porto Alegre, p. 59-79, 2006.

BANDICK, A. K; DICK, R. Field management effects on soil enzyme activities. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 31, p. 1471-1479, 1999.

BARBOSA, R. A.; NASCIMENTO JR. D. EUCLIDES, V. P. B.; SILVA, S.C; ZIMMER, A. H.; TORRES JÚNIOR, R. A. A. Capim tanzânia submetido a combinações entre intensidade e frequência de pastejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.3, p.329-340, 2007.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; TELMO, J. C; MARTIN-NETO, L.; FERNANDES, S. V. Organic matter storage in a sandy clay loam acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 54, p. 101-109, 2000.

BONANOMI, G.; INCERTI, G.; ATIGNANI, V.; CAPODILUPO, M.; MAZZOLENI, S. Decomposition and nutrient dynamics in mixed litter of Mediterranean species. **Plant Soil**, v.331, p. 481-496, 2010.

BROUGHAM, R. W. Interception of light by the foliage of pure and mixed stands of pasture plants. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 9, n. 1, p. 39-52, 1958.

BROWN, R. H.; BLASER, R. E. Leaf area index in pasture growth. **Herbage Abstracts**. v.38, n. 1, p. 1-9, 1968.

CARDOSO, E. L.; SILVA, M. L. N.; SILVA, C. A.; CURI, N.; FREITAS, D. A. F. Estoques de carbono e nitrogênio em solo sob florestas nativas e pastagens no bioma Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, n.9, p. 1028-1035, 2010.

CARNEVALLI, R. A.; SILVA, S.C.; BUENO, A.A.; UEBELE, M.C.; HODGSON, J.; SILVA, G.N.; MORAIS, J.P.G. Herbage production and grazing losses in *Panicum maximum* cv. Mombaça under four grazing managements. **Tropical Grasslands**, v.40, p.165-176, 2006.

CARVALHO, J. L. N.; AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N.; MELLO, C. R.; CERRI, C. E. P. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 34, p. 277-289, 2010a.

CARVALHO, J. L. N.; RAUCCI, G. S.; CERRI, C. E. P.; BERNOUX, M.; FEIGL, B. J.; WRUCK, F. J.; CERRI, C. C. Impact of pasture, agriculture and crop-livestock systems on soil C stocks in Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 110, p. 175-186, 2010b.

CONANT, R.T.; PAUSTIAN, K.; DEL GROSSO, S.J.; PARTON, W.J. Nitrogen pools and fluxes in grassland soils sequestering carbon. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.71, p.239-248, 2005.

CORAZZA, E. J.; SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbon em relação à vegetação do cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 425-432, 1999.

D'ANDRÉA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; GUILHERME, L. R. G.; Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.2, p.179-186, 2004.

DUBEUX JR, J. C. B.; SOLLENBERGER, L.E.; INTERRANTE; S. M. VENDRAMINI, J. M. B. STEWART JR., R. L. Litter decomposition and mineralization in bahiagrass pastures managed at different intensities. **Crop Science**, v. 46, p. 1305-1310. 2006.

DUBEUX JR.; SOLLEMBERGER, L.E.; MATHEWS, B.W. SCHOLBERG, J. M.; SANTOS, H. Q. Nutrient cycling in warm-climate grasslands. **Crop Science**, v. 47, p.915-928, 2007.

FEIGL, B. J.; MELILLO, J.; CERRI, C. C. Changes in the origin quality of soil organic matter after pasture introduction in Rondônia (Brazil). **Plant and Soil**, v.175, p. 21-29, 1995.

GALZERANO, L.; MALHEIROS, E. B.; MORGADO, E. S.; RUGGIERI, A.C. Emissão de CO₂, características do dossel e acúmulo de forragem em pastos de capim-pensacola sob frequências de desfolhação. **Ciência Animal Brasileira**, v.15, n.2, p. 138-144, 2014.

GU, Y.; WAG, P.; KONG, C. Urease, invertase, dehydrogenase and polyphenoloxidase activities in paddy soils influenced by allelopathic rice variety. **European Journal of Soil Biology**, v. 45, p. 436-441, 2009.

JANK, L.; MARTUSCELLO, J. A.; EUCLIDES, V. P. B.; VALLE, C. B. do; RESENDE, R. M. S. Panicum maximum Jacq. In: Dilermando Miranda da Fonseca; Janaina Azevedo Martuscello. (Org.). **Plantas forrageiras**. 1 ed. v. 1, p. 166- 196. 2010.

JANTALIA, C. P; VILELA, L.; BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S. Integração lavoura pecuária como uma tecnologia sustentável para o Cerrado; estudo de caso. In: ALVES, B.J.R., URQUIAGA, S., *et. al.* **Manejo de sistemas agrícolas**. p. 157-168, 2006.

KHUSH, G. S. Green revolution: the way forward. **Nature Reviews Genetics**, v. 2, n. 10, p. 815-822, 2001.

KNORR, M.; FREY, D.; CURTIS, P.S. Nitrogen additions and litter decomposition: a meta-analysis. **Ecology**, v. 86, n.12, 2005.

LAL, R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. **Science**, Washington, v. 304, p. 1623-1626, 2004.

LAL, R. Enhancing crop yields in the developing countries through restoration of the soil organic carbon pool in agricultural lands. **Land Degradation & Development**, West Sussex, v. 17, p. 197-206, 2006.

LEMAIRE, G. The physiology of grass growth under grazing: tissue turnover. In: **Simpósio internacional sobre produção animal em pastejo**, p.115-144, 1997.

LIU, K.; SOLLENBERGER, L.E.; SILVEIRA, M. L.; VENDRAMINI, J. M.B.; NEWMAN, Y.C. Grazing intensity and nitrogen fertilization affect litter responses in Tifton 85 bermudagrass pastures: I. Mass, deposition rate, and chemical composition. **Agronomy Journal**, v. 103, p. 156-162, 2011.

MARCHIORI JÚNIOR, M.; MELO, W. J. Carbono, carbono da biomassa microbiana e atividade enzimática em um solo sob mata natural, pastagem e cultura do algodoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 23, p. 257-263, 1999.

MELO, W. J.; MELO, G. M. P., ARAÚJO, A. F.; MELO, V. P. Avaliação da atividade enzimática em amostras de solo. In: FIGUEIREDO et al. (Eds) **Biotecnologia aplicada à agricultura**. Brasília, EMBRAPA, Informação tecnológica, Recife, Instituto Agrônômico de Pernambuco, p. 158-187, 2010.

MOREIRA, F. M. S. SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2ª ed. Editora UFLA, 729P, 2006.

PANCHOLY, S. K., RICE, E. C. Soil enzymes in relation to old field succession ; amylase, cellulase, invertase, dehydrogenase and urease. **Soil Science Society of America Journal**, v. 37, p. 47-50, 1973.

PEDREIRA, B. C.; PEDREIRA, C. G. S.; DA SILVA, S. C. Estrutura do dossel e acúmulo de forragem de *Brachiaria brizantha* cultivar Xaraés em resposta a estratégias de pastejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 2, p. 281-287, 2007.

PINTO, C. R. O; NAHAS E. Atividade e população microbiana envolvida nas transformações do enxofre em solos com diferentes vegetações. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 12, p. 1751-1756, 2002.

SALAZAR, S.; SÁNCHEZ, L. E.; ALVAREZ, J.; VALVERDE, A.; GALINDO, P.; IGUAL, J. M.; PEIX, A.; SANTA-REGINA, I. Correlation among soil enzyme activities under different forest system management practices. **Ecological Engineering**, v. 37, p. 1123-1131, 2011.

SHANG, Z. C.; ZHANG, L. L.; WU, P. GONG, P.; LI, D. P.; ZHU, P.; GAO, H. J. The activity and kinetic parameters of oxidoreductases in phaeozem in response to long-term fertiliser management. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v.12, p. 605-615, 2012.

SILVA JR, J. E.; RESCK, D.V.S.; CORAZZA, E.J.; VIVALDI, L. Carbon storage in clayey Oxisol cultivated pastures in the “Cerrado” region, Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.103, p.357-363, 2004.

SILVA, H.M.S., DUBEUX JR., J.C.B, SANTOS, M.V.F., LIRA, M.A., MELLO, A. C. L.; LIRA JR., M. A.; FERRAZ, L. V. Litter decomposition of *Brachiaria decumbens* Stapf. and *Calopogonium mucunoides* Desv. in the rumen and in the field: a comparative analysis. **Nutrient Cycling in Agroecosystems Journal**. n.87, p. 151-158, 2009.

SOUSSANA, J F.; TALLEC, T.; BLANFORT, V. Mitigating the greenhouse gas balance of ruminant production systems through carbon sequestration in grasslands. **Animal**, v. 4, n. 3, p. 334–350, 2010.

T MANNETJE, L. Advances in grassland science. **Netherlands Journal of Agricultural Science**. v. 50, n. 2, p. 195–221, 2002.

TARRÉ, R. M.; MACEDO, R.; CANTARUTTI, R. B.; RESENDE, C. P.; PEREIRA, J. M.; FERREIRA, E.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. The effect of the presence of a forage legume on nitrogen and carbon levels in soils under *Brachiaria* pastures in the Atlantic forest region of the south of Bahia, Brazil. **Plant and Soil**, Netherlands, v.234, p. 15-26, 2001.

TAYLOR, J. P.; WILSON, M.; MILLS, S.; BURNS, R. G. Comparison of microbial numbers and enzymatic activities in surface soils and subsoils using various techniques. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 34, p. 387-401, 2002.

TEIXEIRA, D. B.; BICALHO, E. S.; PANOSSO, A. R.; et al. Spatial variability of soil CO₂ emission in a sugarcane area characterized by secondary information. **Scientia Agrícola**, v. 70, n.3, p. 195-203, 2013.

UHLIROVA, E.; ELHOTTOVA, D.; TRISKA, J. & SANTRUCKOVA, H. Physiology and microbial community structure in soil at extreme water content. **Folia Microbiology**, v. 50, p. 161-166, 2005.

VELÁSQUEZ, P. A. T.; BERCHIELLI, T. T.; REIS, R. A.; RIVERA, A. R.; DIAN, P. H. M. D.; TEIXEIRA, I. A. M. A. Composição química, fracionamento de carboidratos e proteínas e digestibilidade *in vitro* de forrageiras tropicais em diferentes idades de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, n.6, p. 1206-1213, 2010.

WALL, A.; HEISKANEN, J. Water-retention characteristic and related physical properties of soil on afforested agricultural land in finland. **Forest Ecology & Management**, v. 186, p. 21-32, 2003.

WATSON, D.J. Comparative physiological studies on the growth of fiel crops. I. Variation in Net assimilations rate and leaf area between years. **Annals of Botany**, v. 11, n. 41, p. 41-76, 1947.

CAPÍTULO 2 – Níveis de carbono e nitrogênio no solo e composição química da serrapilheira em pastos de capim-tanzânia sob índices de área foliar residual

RESUMO – O aumento da matéria orgânica do solo (MOS) pode ser utilizado para avaliar a qualidade dos solos. A melhor qualidade da serrapilheira, que pode ser alcançada através do manejo correto das pastagens, resultará em aumento da atividade microbiana e elevação dos estoques de carbono e nitrogênio no solo, com impacto positivo na MOS. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos dos índices de área foliar residual (IAFr) sob os estoques de carbono, nitrogênio e na composição química da serrapilheira em solos de pastagens de capim-tanzânia submetidos a diferentes intensidades de pastejo sob lotação intermitente. O experimento foi conduzido no setor de Caprinocultura da UNESP – Jaboticabal no período de janeiro de 2011 a maio de 2012. Os tratamentos consistiram de três IAFr (0,8; 1,6; 2,4), com quatro blocos para as avaliações, totalizando 12 unidades experimentais. A avaliação da decomposição da serrapilheira foi realizada através da técnica de sacos de “nylon” preenchidos com material correspondente de cada área e colocados sob o solo, cobertos com fina camada de serrapilheira. Foi avaliada a composição química do material nos tempos de incubação: 0, 4, 8, 16, 32, 64, 128 e 256 dias, quanto ao teor de matéria orgânica (MO), nitrogênio (N), fósforo (P), carbono (C), relação carbono:nitrogênio (C:N) e lignina. Apenas o fósforo (P) apresentou interação ($P < 0,05$) entre os IAFr e dias de incubação. Para as demais variáveis não houve efeito dos tratamentos, apenas os tempos de incubação foram significativos ($P < 0,05$), com redução nos teores de MO, P, relação C:N e aumento no teor de N e lignina. As avaliações de estoque de carbono e nitrogênio no solo foram realizadas nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm, com três repetições em cada área. Os teores e os estoques de C e N do solo não tiveram efeito significativo ($P > 0,05$) nos IAFr. As profundidades avaliadas foram determinantes ($P < 0,05$), sendo maiores em superfície e diminuindo em profundidade. A relação C:N não foi influenciada pelos IAFr e profundidades de avaliação. Os IAFr avaliados não interferem na dinâmica de ciclagem de nutrientes e estoques de C e N no solo.

Palavras-chave: Acúmulo de carbono no solo, ciclagem de nutrientes, liteira, *Panicum maximum*.

1. INTRODUÇÃO

Pesquisas com o C orgânico do solo sob diferentes sistemas de manejo são realizadas com o intuito de fornecer subsídios para a avaliação da qualidade do solo. É de grande importância a identificação dos sistemas de manejo de culturas e pastagens que promovam aumento dos estoques de C no solo (FREITAS et al., 2000, NEVES et al., 2004).

Em solos com cobertura vegetal natural, o C orgânico encontra-se em equilíbrio dinâmico, com teores praticamente constantes ao longo do tempo. Essa condição é alterada quando o solo é submetido ao cultivo ou implantação de pastagens, e um novo equilíbrio é atingido em um nível que varia em razão das características do sistema de manejo adotado (D'ANDRÉA, et al., 2004).

O N é um elemento de grande importância nos estudos de matéria orgânica do solo, sendo um dos nutrientes com dinâmica mais pronunciada no sistema. A maior parte está na fração orgânica (mais de 90%), formando grande reservatório de formas mais prontamente disponíveis, como a nítrica e a amoniacal (D'ANDRÉA, et al., 2004).

Dentre os fatores que afetam os níveis de C e N no sistema, tem-se a dinâmica de decomposição da serrapilheira em solos de pastagens, que são importantes componentes no processo de ciclagem de nutrientes. Além de conter grandes quantidades de minerais e energia, o conjunto "serrapilheira-solo" faz a comunicação entre o solo e a vegetação, construindo um *habitat* onde ocorre abundante fauna e comunidade microbiana heterotrófica (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). A dinâmica de decomposição em populações de microrganismos nos solos é regulada principalmente pela aeração, umidade, temperatura, pH e o estado dos nutrientes presentes (imobilizados ou mineralizados) (SILVA et al., 2009).

Em virtude da importância no entendimento da dinâmica da composição química da serrapilheira na reciclagem de nutrientes, assim como os estoques de C e N no solo, pesquisas foram conduzidas em pastagens com diferentes intensidades de pastejo em pastos de capins xaraés, tifton 85, marandu e decumbens, respectivamente para Raposo et al., (2014); Caputti, (2014); Azenha, (2014) e Apolinário et al., (2014). Porém, ainda não existem resultados de pesquisas avaliando o efeito de diferentes intensidades de pastejo (IAFr) em pastos de capim-tanzânia na ciclagem de nutrientes no solo e estocagem de C e N.

Assim, o objetivo deste trabalho foi quantificar os efeitos dos índices de área foliar residual (IAFr) na dinâmica de estoque de carbono e nitrogênio no solo, assim como a composição química da serrapilheira.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local e área experimental

O experimento foi conduzido no Setor de Caprinocultura do Departamento de Zootecnia da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária – UNESP, Campus de Jaboticabal, localizada a 21°15'22" de latitude sul, longitude de 48°18'058"W, a uma altitude de 595 m.

O clima predominante de Jaboticabal-SP, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo Aw, descrito como tropical de estiagem de inverno, com estação seca definida (abril a setembro) e concentração das chuvas nos meses de verão (outubro a março).

A área de pastagem de capim-tanzânia (*Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia 1) foi formada há 15 anos., sendo utilizada para o manejo de caprinos até o ano de 2012. A área total corresponde a 1,2 ha, que foi subdividida em 18 piquetes experimentais (243 m² /piquete), dos quais 12 piquetes foram utilizados no presente

experimento, sendo o restante da área utilizado para outras avaliações e como piquetes de reserva.

2.2 Dados climáticos

Os dados climáticos referentes ao período experimental, como temperaturas máxima e mínima e precipitação podem ser visualizados na Figura 1. A insolação (em horas) pode ser vista na Figura 2. Os dados foram obtidos na Estação Agroclimática do Departamento de Ciências Exatas da UNESP/Jaboticabal.

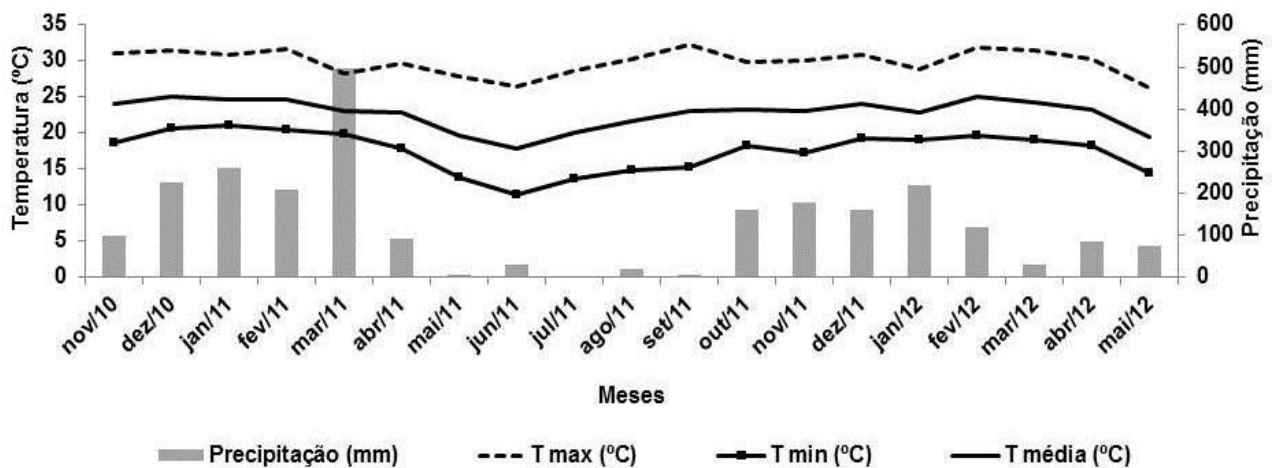


Figura 1. Temperaturas máxima, média e mínima e precipitação pluvial, durante o período experimental. Fonte: Estação de Agrometeorologia da Unesp, Campus de Jaboticabal-SP.

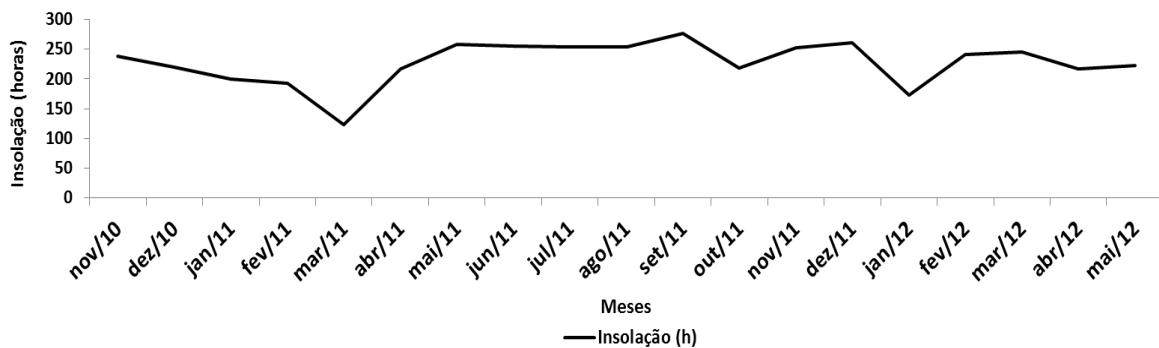


Figura 2. Insolação em horas, durante o período experimental. Fonte: Estação de Agrometeorologia da Unesp, Campus de Jaboticabal-SP.

2.3 Solo da área e período experimental

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico, típico textura argilosa A moderado, caulínítico hipoférrico com relevo suave ondulado (EMBRAPA, 2006).

No período pré-experimental foi realizada uma coleta de amostra de solo, na profundidade de 0-20 cm (Tabela 1), para análise da fertilidade do solo e verificação da necessidade de correção de acidez (com calcário reativo) e aplicação dos adubos necessários. As análises das características químicas do solo foram realizadas no Departamento de Solos e Adubos da FCAV – UNESP, Campus Jaboticabal.

A adubação de manutenção da área experimental consistiu de 100 kg de P_2O_5 e 100 kg de K_2O (formulação comercial 0 – 20 – 20), aplicados em dose única, antes do pastejo de imposição dos tratamentos (novembro/2010) e 200 kg de N (fonte uréia), parcelado em quatro aplicações. A primeira aplicação nitrogenada foi realizada no mês de dezembro de 2010 e as três doses restantes (150 kg) foram aplicadas assim que os piquetes foram pastejados. No período em que não houve pastejo, não foi aplicado nitrogênio. Em dezembro de 2011 foi realizada nova análise de solo da área experimental, porém, não foi necessária nova adubação de manutenção, apenas

aplicação de N na forma de uréia, na mesma quantidade e forma de aplicação do ano anterior.

O período experimental foi de dezembro de 2010 a maio de 2012.

Tabela 1. Resultado das análises de fertilidade do solo na área experimental

Ano	pH CaCl ₂	MO g/dm ³	P _{resina} Mg/dm ³	K	Ca	Mg	H+Al mmol _c /m ³	SB	V
2010	5.2	26	21	2.6	29	10	28	41.6	60
2011	5.2	32	40	3.4	33	11	31	47.4	60

pH = acidez (água), MO = matéria orgânica, P = fósforo, K = potássio, Ca = cálcio, Mg = magnésio, hidrogênio mais alumínio, SB= soma de bases, T = capacidade de troca catiônica, V = saturação por bases. *Análise de solo realizada no Departamento de Solos e Adubos da FCAV- Unesp-Jaboticabal.

2.4 Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos consistiram em três índices de área foliar residual (IAFr 0,8; 1,6; 2,4). Foi adotado o delineamento experimental em blocos casualizados, sendo utilizados quatro blocos experimentais com três tratamentos por bloco, totalizando 12 piquetes experimentais.

Para as avaliações de massa de forragem, foram definidos blocos casualizados, onde IAFr foram considerados efeitos fixos. As análises de composição química da serrapilheira foram realizadas em blocos casualizados, onde os IAFr os efeitos fixos e os dias de incubação medidas repetidas no tempo. As avaliações de estoques de C e N foram definidas em blocos casualizados, onde as profundidades de coleta foram definidas como medidas repetidas no espaço.

2.5 Animais experimentais e método de pastejo

Foram utilizados para o pastejo cabras e cabritos da raça Anglonubiano, com peso médio de 40 kg e 15 kg, respectivamente. Diariamente, os animais foram conduzidos para a área experimental e, ao final do dia, recolhidos para o galpão do

capril, onde receberam sal mineral e ração (silagem + concentrado). O método de pastejo adotado foi de lotação intermitente.

2.6 Monitoramento das condições experimentais

No pré-pastejo, foram avaliados semanalmente o IAF e interceptação luminosa IL do dossel forrageiro, utilizando-se o aparelho analisador de dossel AccuPAR LP-80 da Decagon (USA). A técnica combinou medidas tomadas com o sensor acima do dossel e próximas ao nível do solo. Foram realizadas 20 leituras, ao acaso, por unidade experimental ou parcela, entre as 10 e 15 horas. Sempre que o piquete atingia 95% de IL, os animais iniciavam o pastejo. Durante esse período as medições do IAF eram diárias. Uma vez atingido o resíduo (0,8; 1,6 e 2,4), os animais eram conduzidos ao próximo piquete que já se encontrava no critério de entrada, ou a uma área de reserva, até que a área seguinte alcançasse os 95% de IL.

O período médio de descanso ou rebrotação, com três dias de ocupação, foi de 30, 29 e 28 dias, nos pastos mantidos sob IAFr 0,8, 1,6 e 2,4, respectivamente, durante o período considerado como “águas” (dezembro à abril). Nos anos de 2011 e 2012 foram feitos quatro ciclos de pastejo em cada ano. Durante o período de inverno não houve manejo dos animais em pastagens, pois não houve retorno do capim aos 95% de IL.

2.7 Alturas do dossel no pré e pós-pastejo

As medições de altura do dossel foram realizadas no pré-pastejo e pós-pastejo utilizando-se régua do tipo bengala graduada em centímetros, composta por tubo rígido de PVC com diâmetro de $\frac{3}{4}$ (Figura 3). Foram tomados 20 pontos ao acaso por piquete, sendo considerada a altura média do dossel quando o prego presente na bengala atingisse a superfície média das folhas do dossel no ponto de amostragem.



Figura 3. Régua do tipo bengala utilizada para medição de altura do dossel.

2.8 Determinação da massa de forragem

As coletas de massa de forragem foram realizadas durante o período em que os animais estavam em pastejo, que corresponde aos meses de janeiro/2011 à maio/2011 e janeiro/2012 à maio/2012. Colheu-se dois pontos por piquete nas alturas médias, totalizando duas amostras colhidas por piquete. Através dos valores de massa de cada piquete estimou-se a carga animal por tratamento. O ajuste da lotação animal (carga animal) foi feito pelo método “put and take”, considerando o consumo de uma cabra adulta em 4% do peso vivo. Desta forma, foi possível obter a lotação instantânea por área e por dia de pastejo.

Para a amostragem dos piquetes, foi utilizado um aro de metal de 0,50 m², sendo a forragem cortada ao nível do solo com auxílio de tesoura de poda (Figura 4). Após o corte, as amostras foram colocadas em sacos plásticos e pesadas. Após serem pesadas, foi retirada uma subamostra de aproximadamente 400g para posterior

separação dos componentes morfológicos: folha, colmo + bainha e material morto, sendo cada componente pesado separadamente.

Em seguida as diferentes frações foram acondicionadas em sacos de papel e levadas à estufa de circulação forçada de ar (55 °C) durante 72 horas e pesadas novamente. Foram calculadas a massa seca de colmo (MSC), massa seca de material morto (MSMM), massa seca de folha (MSF), relação lâmina foliar:colmo (F/C) e massa seca total (MST). Este procedimento foi realizado antes da entrada (pré pastejo) e logo após a saída dos animais do piquete (pós pastejo), em todos os ciclos de pastejo.



Figura 4. Tesoura de poda e aro de 0,50 m² utilizados para amostragem da gramínea.

2.9 Composição química da serrapilheira

A avaliação da composição química da serrapilheira seguiu a técnica de sacos de “nylon”, adaptado de DUBEUX JR. et al., (2006a). Considerou-se como serrapilheira todo o material sob o solo, o qual foi recolhido em bandejas plásticas em cada piquete e levado ao laboratório de forragicultura. As frações de serrapilheira foram pesadas (15 g saco⁻¹) e colocadas no interior das bolsas de nylon. Foram utilizados sacos de malha de

75 µm com 20 cm x 30 cm. As bolsas de “nylon” foram previamente secas em estufa a 55 °C por 24 horas, pesadas e colocadas as frações de serrapilheira correspondentes em cada saco. Em seguida, os sacos foram acondicionados sobre a superfície do solo de cada piquete referente ao material coletado e cobertos com serrapilheira, sendo incubados por 0, 4, 8, 16, 32, 64, 128 e 256 dias. Todo o material foi colocado no solo em janeiro de 2011.

Após o término de cada tempo de incubação, as bolsas foram limpas com pincel para a retirada dos resíduos impregnados e levadas para a estufa a 55 °C por 72 horas. Foram determinados os teores de matéria orgânica (MO) e lignina de acordo com a metodologia descrita por Silva e Queiroz (2002), nitrogênio (N) e fósforo (P) de acordo com a metodologia descrita pela AOAC (1995) e carbono (C) segundo metodologia descrita por Bezerra Neto e Barreto (2004).

2.10 Estoques de carbono e nitrogênio no solo

A amostragem de solo foi realizada na profundidade de 0 a 30 cm, com três repetições em cada área, nas profundidades de 0-5, 05-10, 10-20 e 20-30 cm. A densidade do solo (DS) foi feita em profundidade, através de amostras indeformadas coletadas com amostrador adaptado a cilindros com dimensões médias de 5,04 cm de diâmetro interno e 4,01 cm de altura (EMBRAPA, 1997). A amostragem de solo foi feita em fevereiro de 2011.

O teor de carbono e nitrogênio total do solo foi mensurado utilizando-se o analisador elementar LECO modelo TruSpec CN628 (LECO INSTRUMENTS, ST JOSEPH, MICHIGAN, USA), em amostras previamente secas e passadas em peneira de 2 mm. O estoque de carbono (EstC) foi calculado com base na massa de solo equivalente (BAYER et al., 2000), pela expressão $EstC = (CT \cdot DS \cdot e) / 10$, sendo EstC o estoque de carbono ($Mg\ ha^{-1}$), CT o teor de carbono total ($g\ kg^{-1}$), DS a densidade do solo ($kg\ dm^{-3}$), e a espessura da camada estudada (cm). O estoque de nitrogênio (EstN) foi calculado com base na massa de solo equivalente (NEILL et al., 1997), pela

expressão $EstN = (NT*DS*e)/10$, sendo $EstN$ o estoque de nitrogênio ($Mg\ ha^{-1}$), NT o teor de nitrogênio total ($g\ kg^{-1}$), DS a densidade do solo ($kg\ dm^{-3}$) e e a espessura da camada estudada (cm). Para estas variáveis, foi realizada a soma das duas primeiras camadas de avaliação (0-5 cm e 5-10 cm) facilitando a comparação entre as demais camadas analisadas.

2.11 Análise Estatística

Para os dados de massa de forragem e composição química da serrapilheira foram utilizados blocos casualizados com medidas repetidas no tempo, onde “tempo” foi definido como dias de incubação. As análises de estoques de C e N foram analisadas como medidas repetidas espaço, onde o fator longitudinal foram as profundidades estudadas. Foi utilizado o procedimento PROC MIXED do SAS (2008), versão 9.2. Selecionou-se a estrutura de covariância que melhor se ajustou aos dados. Nas comparações entre níveis de tempo utilizou-se modelos exponenciais e entre os tratamentos (IAFr) contrastes ortogonais polinomiais (1° e 2° grau) (LITTELL et al., 2006).

3. RESULTADOS

3.1. Carga animal, produção de massas secas de colmo, folha, material morto e total

A lotação instantânea utilizada nos piquetes manejados com IAFr 0,8, 1,6 e 2,4 foi de 987,3, 586,2 e 511,4 kg, respectivamente. Assim, foram gerados os gradientes de crescimento da gramínea.

Os valores de massa de forragem são correspondentes ao período denominado “águas” (dezembro a abril) referentes aos anos de 2011 e 2012. A variável massa seca

de colmo (MSC) (Tabela 2) teve aumento linear crescente ($p < 0,05$) no pré pastejo, nos piquetes manejados com os IAFr maiores (1,6 e 2,4). Nas demais variáveis, no entanto, não se observou tal efeito ($p > 0,05$). No pós pastejo, verificou-se efeito linear crescente apenas na variável massa seca de folha (MSF) (Tabela 2).

Tabela 2. Valores médios (kg/ha) e correspondentes comparações de contrastes polinomiais dos componentes morfológicos do capim-tanzânia, em função dos índices área foliar residual (IAFr), referentes aos anos 2011/2012.

	kg MS/ha	IAFr			Efeito*	P**
		0,8	1,6	2,4		
Pré-pastejo	MSF	3494	3656	4496	ns	>0,05
	MSC	5106	5601	6380	L	0,0353
	MSMM	1636	2240	1541	ns	>0,05
	MST	10237	11498	12418	ns	>0,05
	F/C	0,71	0,67	0,71	ns	>0,05
Pós-pastejo	MSF	933	1502	1658	L	0,0214
	MSC	3637	3607	3916	ns	>0,05
	MSMM	929	861	962	ns	>0,05
	MST	5500	5971	6537	ns	>0,05

Efeito* (L= linear, considerando $P < 0,05$, ns= não significativo), P** (probabilidade associada ao teste F, para contrastes); MSF: massa seca de folha, MSC: massa seca de colmo, MSMM: massa seca de material morto e MST: massa seca total.

3.2 Variáveis relacionadas à serrapilheira

As análises de variância dos dados referentes à serrapilheira obtidos durante o período experimental encontram-se na Tabela 3. Observa-se efeito de interação entre tratamento e tempo de incubação para a porcentagem de carbono (C).

O padrão de resposta do teor de matéria orgânica (MO) do material remanescente da serrapilheira de capim-tanzânia ao longo dos tempos de incubação (Figura 5) ajustou-se ao modelo exponencial. Na taxa de MO da serrapilheira não houve efeito dos tratamentos (IAFr) quando comparados entre os tempos avaliados. Os diferentes dias de incubação foram determinantes na diminuição da porcentagem de MO ao longo do tempo ($P > 0,05$), sendo a redução entre o dia 0 e 256 de 38,27%.

Tabela 3. Resultado de análise de variância das variáveis relacionadas a serrapilheira e estrutura da matriz de covariâncias entre tempos (Σ)

Variável	Estatísticas F para		
	IAFr	Tempo	IAFr×Tempo
MO	ns	*	ns
C	ns	*	*
N	ns	*	ns
C:N	ns	*	ns
P	ns	*	ns
LIG	ns	*	ns

* = ($p < 0,05$); ns = ($p \geq 0,05$); IAFr = Índice de área foliar residual; MO=matéria orgânica; C=carbono; N=nitrogênio; C:N= relação carbono/nitrogênio; P=fósforo; LIG= lignina.

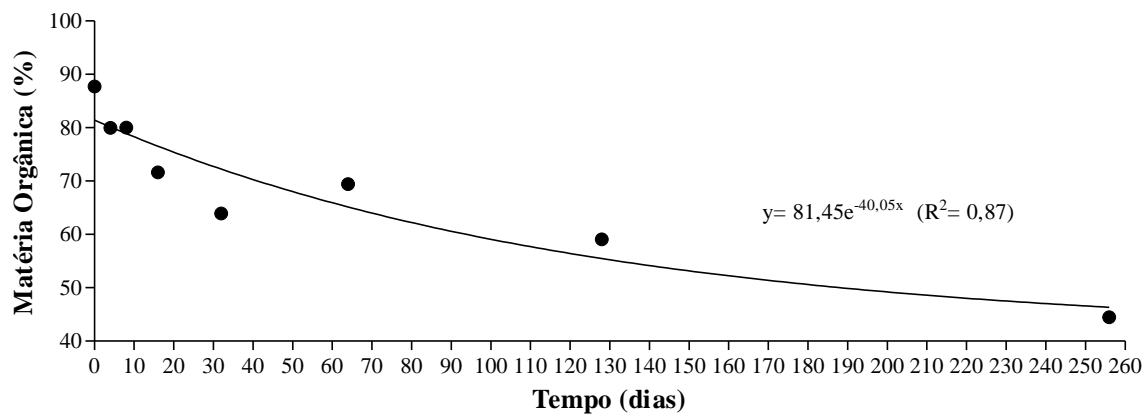


Figura 5. Porcentagem de matéria orgânica (MO) no material remanescente da serrapilheira de pastos de capim-tanzânia manejados sob IAFr nos diferentes tempos de incubação.

A porcentagem de carbono (C) do material remanescente da serrapilheira de capim-tanzânia foi decrescente ao longo dos tempos de incubação (Figura 6) e ajustou-se ao modelo exponencial, sendo que neste caso, houve interação dos tratamentos impostos com os tempos de incubação do material, conforme demonstrado na Tabela 4.

Apenas no 16º dia de incubação, houve aumento linear no teor de C, de 27,59% nos piquetes manejados com IAFr 0,8 para 38,34% para o IAFr 2,4, correspondendo a 28,03% de diferença. O IAFr 2,4 apresentou menor taxa de C ao final do período de incubação (256 dias), sendo a diferença entre o primeiro e último período de 59,96%. O IAFr 0,8 apresentou menor taxa de desaparecimento, de 30,22%.

O teor de nitrogênio (N) ajustou-se ao modelo exponencial (figura 7). Não houve efeito dos IAFr sobre os valores de N ($P < 0,05$). Houve aumento da porcentagem até 32º dia de incubação, com posterior estabilização da curva. A diferença dos valores do primeiro e último período foi de 48,3%.

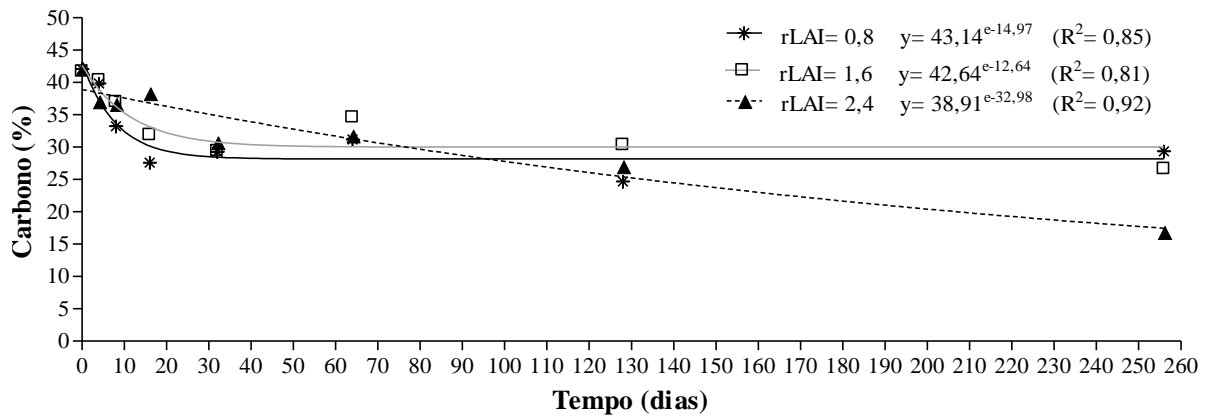


Figura 6. Porcentagem de carbono (C) no material remanescente da serrapilheira de pastos de capim-tanzânia manejados sob IAFr nos diferentes tempos de incubação.

De acordo com representado na Figura 8, houve queda na relação de carbono:nitrogênio (C:N), onde ajustou-se o modelo exponencial ($P < 0,05$). A curva que representa os tratamentos demonstrou rápida queda e posterior estabilização por volta do 32º dia de incubação, atingindo o platô da curva. A redução foi de 56,78% entre os tempos 0 e 4. Quando comparados os tempos 0 e 256, a diferença é considerável, com a redução em 79,31% na relação C:N.



Figura 7. Porcentagem de nitrogênio (N) no material remanescente da serrapilheira de pastos de capim-tanzânia manejados sob IAFr nos diferentes tempos de incubação.

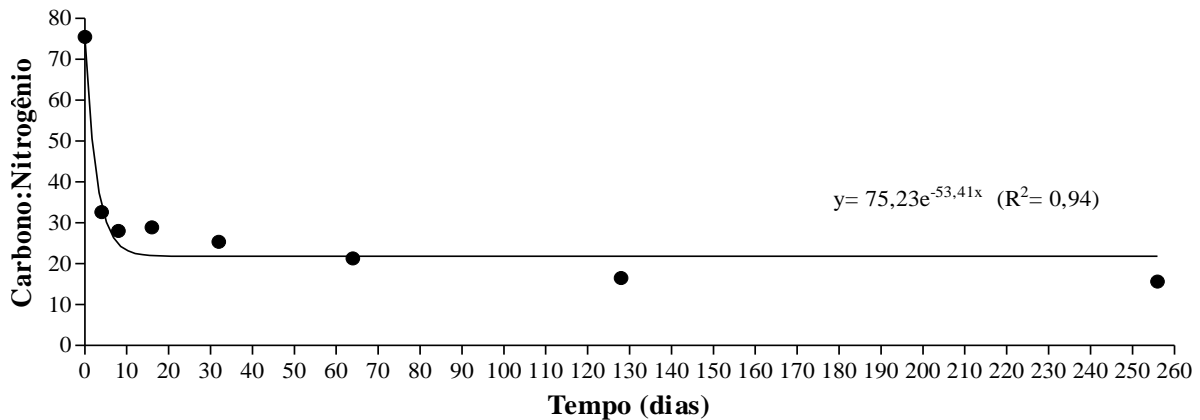


Figura 8. Relação C:N no material remanescente da serrapilheira de pastos de capim-tanzânia manejados sob IAFr nos diferentes tempos de incubação.

A porcentagem de lignina ajustou-se ao modelo exponencial ($P < 0,05$). A curva que representa os tratamentos (IAFr) foi ascendente (Figura 9). Houve aumento de 26,82% no dia 0 em relação ao dia 256 de incubação da serrapilheira. A estabilização do processo de lignificação do material ocorreu próximo aos 256 dias de incubação.

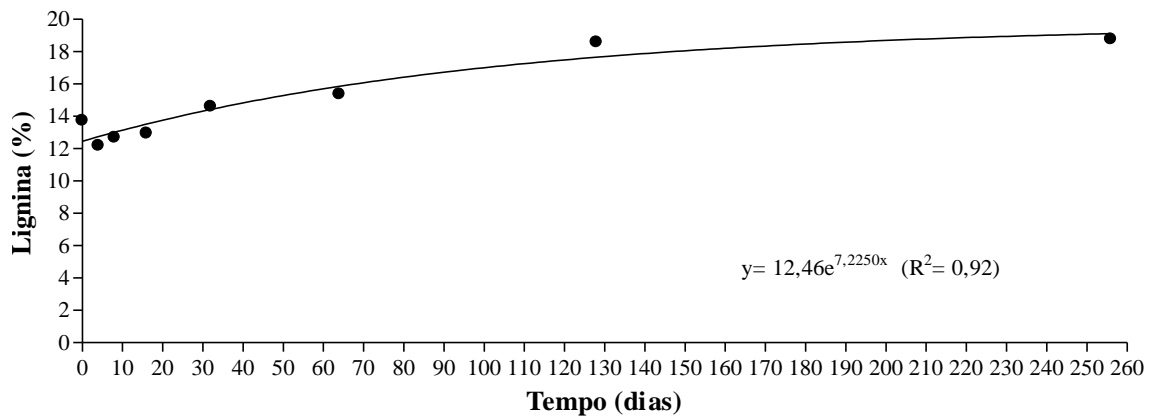


Figura 9. Porcentagem de lignina no material remanescente da serrapilheira de pastos de capim-tanzânia manejados sob IAFr nos diferentes tempos de incubação.

O teor de fósforo (P) (Figura 10) apresentou padrão de resposta decrescente ao longo dos tempos de incubação e ajustou-se ao modelo exponencial ($P < 0,05$). A diferença de valores entre a primeira avaliação e última é de 64,46%. A partir do 128º de incubação, o teor de P da serrapilheira apresentou tendência à estabilização da curva.

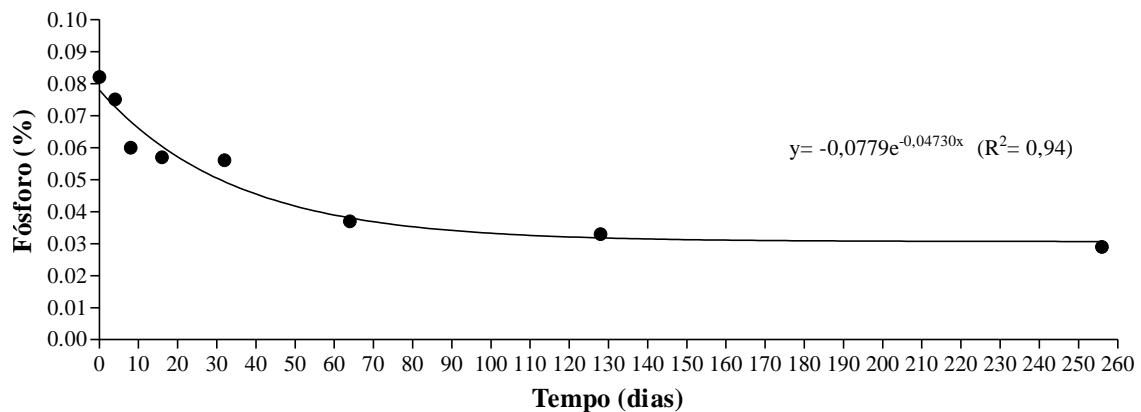


Figura 10. Porcentagem de fósforo no material remanescente da serrapilheira de pastos de capim-tanzânia manejados sob IAFr nos diferentes tempos de incubação.

3.3 Níveis de carbono, nitrogênio e estoques de carbono e nitrogênio do solo

O resultado da análise de variância dos dados relacionadas ao carbono, nitrogênio, estoques de carbono e nitrogênio do solo de pastos de capim-tanzânia, obtidos durante o período experimental está descrito na Tabela 4. Observa-se que o efeito da profundidade de coleta não foi significativo ($P > 0,05$) apenas para a relação C:N.

Tabela 4. Resultado de análise de variância das variáveis relacionadas aos níveis de carbono e nitrogênio, estoques de carbono e nitrogênio e estrutura da matriz de covariâncias entre profundidades (Σ)

Variável	Estatística F			Estrutura
	IAFr	Profundidade	IAFr×Profundidade	
C	ns	*	ns	HF ¹
N	ns	*	ns	TOEP ²
C:N	ns	ns	ns	ARH(1) ³
EstC	ns	*	ns	FA(1)
EstN	ns	*	ns	CSH

* = ($P < 0,05$); ns = ($p \geq 0,05$); IAFr = Índice de área foliar residual; HF¹ = *Huynh-Feldt*; ³ARH = *Heterogeneous Autoregressive*; FA(1) = *Factor Analytic*; CSH = *Heterogeneous Compound Symmetric*.

O teor de C foi maior nas camadas superiores de avaliação, sendo a diferença de 50,64% para as profundidades de 0-5 cm e 20-30 cm. Essa diferença ocorreu conforme aumento da profundidade avaliada (Tabela 5). Mesmo comportamento apresentou o N, praticamente com a mesma proporção quando comparadas as profundidades de 0-5 cm e 20-30 cm. A relação C:N se manteve estável e não houve efeito das diferentes profundidades avaliadas ($P > 0,05$).

Tabela 5. Efeito da profundidade nas quantidades de nitrogênio e carbono do solo de pastos de capim-tanzânia sob lotação intermitente por caprinos

Variável	Profundidade (cm)				Cont*
	0-5	5-10	10-20	20-30	
C (%)	2,33	1,77	1,43	1,15	L
N (%)	0,25	0,20	0,16	0,15	L
C:N	9,18	8,76	8,98	7,78	ns

Contraste* (L= linear, considerando $P < 0,05$, ns= não significativo).

Os valores de estoque de carbono (EstC) e estoque de nitrogênio (EstN) foram influenciados pelas diferentes profundidades de coleta, apresentando efeito linear decrescente para ambas variáveis ($P < 0,05$). O EstC demonstrou acentuada queda quando comparadas as profundidades 0-10 cm e 20-30 cm, sendo a diferença de 73,04% (Tabela 6). Quando avaliadas as profundidades 10-20 cm e 20-30 cm, esta diferença cai para 18,34%. Mesma situação foi observada para o EstN, com redução de 69,08% na profundidade 0-10 cm e 20-30 cm conforme demonstrado na Tabela 6.

Tabela 6. Estoques de carbono (EstC) (T/ha^{-1}) e nitrogênio (EstN) (T/ha^{-1}) em diferentes profundidades do solo sob pastos de capim-tanzânia

Variável	Profundidade (cm)			Cont.
	0-10	10-20	20-30	
EstC	32,20	10,63	8,68	L
EstN	3,59	1,19	1,11	L

Contsrates* (L= linear, considerando $P < 0,05$, ns= não significativo).

4. DISCUSSÃO

Os resultados obtidos com o pastejo mais leve proporcionado pelos IAFr 1,6 e 2,4 no pré pastejo, comprovaram que os maiores resíduos incrementaram os valores de MSC (Tabela 2). O desenvolvimento de colmos favorece o aumento da MST, porém, apresenta efeitos negativos no aproveitamento da forragem produzida, alterando o comportamento ingestivo dos caprinos, que são animais seletivos (SANTOS et al., 2004). A maior competição por luz nos piquetes manejados com IAFr 1,6 e 2,4 pode ter provocado maior sombreamento da folhas localizadas na base do dossel, também contribuindo para maior MSC. Como consequência do aumento do colmo, as folhas podem apresentar maior tamanho final, pois o caminho a percorrer dentro do pseudocolmo é mais longo, em virtude do tipo de tratamento imposto.

O declínio no teor de MO da serrapilheira (Figura 5) são justificados, em parte, pelos fenômenos climáticos nos primeiros períodos de incubação da serrapilheira. Nos três primeiros meses de incubação (janeiro a março/2011) houve grande volume de

chuvas e altas temperaturas (Figura 1). Este fator climático provavelmente favoreceu a atividade dos microrganismos, aumentando o desaparecimento da MO.

Segundo Liu et al., (2011b), a pluviosidade aliada às altas temperaturas podem estar diretamente ligadas à perda de MO ao final do período de incubação da serrapilheira. Este cenário propicia ambiente ideal aos microrganismos presentes no solo. Vários estudos demonstram correlação positiva entre estes fatores (SALAMANCA et al., 2003, REED et al., 2009).

A atividade microbiana é aumentada em virtude das condições favoráveis (umidade e temperatura) no solo, elevando a velocidade de decomposição da MO presente no material em decomposição, justificando a rápida queda na porcentagem de MO no início do período de avaliação. Os resultados corroboram com o que foi demonstrado no presente estudo (Figura 1). DUBEUX et al., (2006b) e SILVA et al., (2009) relataram porcentagem de MO similar ao observado neste trabalho. Segundo os autores, após 128 dias de incubação da serrapilheira, a MO remanescente foi de 40-60%, valor próximo ao obtido neste experimento, 35,2%.

A interação apresentada no teor de C da serrapilheira no 16° dia de incubação pode ser justificada pelo tipo de material incubado, o qual exerceu influência na ação dos microrganismos durante o processo de decomposição. Os piquetes mantidos com IAFr 2,4 apresentaram maior proporção de folhas, mesmo não sendo observado diferença significativa entre os tratamentos. Este fato pode ter sido determinante para o aumento do teor de C.

Em todos os tratamentos houve queda e estabilização no teor de C (Figura 6) com o decorrer dos tempos de incubação, sendo comportamento esperado, haja visto que os microrganismos do solo necessitam do carbono orgânico para os processos metabólicos. Moreira e Siqueira, (2006) afirmaram que por meio de mecanismos bioquímicos específicos, com a decomposição e mineralização de componentes individuais dos resíduos, há a formação de CO₂, biomassa e liberação de elementos minerais. Deste modo, em condições aeróbias, a maior parte do carbono depositado é utilizada como fonte de energia primária para o crescimento microbiano.

Monteiro et al., (2002) avaliaram a dinâmica de decomposição e mineralização de C em função da qualidade de resíduos de gramíneas e leguminosas forrageiras e encontraram valores de 46,36% em resíduos de parte aérea de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, 43,29 % em *Brachiaria decumbens*, e 44,49% de C em *Brachiaria brizantha* cv. Comum. Os valores verificados por esses autores são semelhantes aos encontrados neste trabalho, que foi em média 42% no início do experimento.

Em relação aos níveis de N, Coleman e Crossley (1996) afirmaram que durante a decomposição da serrapilheira os microrganismos imobilizam N, o que conduz ao aumento na concentração deste mineral, fato semelhante ao ocorrido neste trabalho (Figura 7). Reforçando o que foi dito pelos autores, o fato de parte do N presente na planta estar ligado à fibra (lignina) dificulta a ação dos microrganismos, uma vez que as enzimas produzidas não conseguem ter acesso ao N ligado à estas estruturas, justificando o aumento da porcentagem de N ao longo do período de incubação.

Silva et al., (2009) em estudo com decomposição de folhas senescentes de *Brachiaria*, observaram desaparecimento de N ao longo dos tempos de incubação, porém o material estudado por esses autores era composto por material orgânico coletado na planta de origem. A fração lábil do material em decomposição composta por açúcares solúveis e aminoácidos livres são facilmente decompostos, o que pode ter conduzido aos valores obtidos. No presente estudo, a metodologia adotada foi a de incubação de todo o material presente no solo em cada tratamento, independente da estrutura da planta e estágio de decomposição do material incubado.

Apolinário et al., (2014) obtiveram resultados semelhantes aos obtidos neste estudo, porém, a concentração de N atingiu a fase platô aos 38 dias de incubação, no segundo ano de avaliação, fato semelhante ao observado neste trabalho, onde ocorreu a fase de estabilização da curva no mesmo período de incubação (Figura 7). A concentração de N pode ter sido influenciada pela maior decomposição de compostos facilmente solúveis, deixando a fração N recalcitrante no resíduo da biomassa (DUBEUX et al., 2006a). Segundo os autores, a pluviosidade pode contribuir para o processo citado acima, fato que ocorreu durante este estudo, com grande volume de chuvas e altas temperaturas no início do período de incubação dos saquinhos (Figura

1). A fase de estabilização ocorre devido a presença de compostos recalcitrantes do material em decomposição, como a lignina (APOLINÁRIO et al., 2014).

Liu et al., (2011b) e Robbins et al., (1989) observaram que a mineralização do N não ocorreu antes dos 100 dias de incubação devido imobilização microbiana, o que difere do observado no presente estudo, onde a mineralização completa do N ocorreu no início do período de avaliação (próximo ao 32° dia de incubação) (Figura 7). Esta resposta se deu pela concentração inicial de N na serrapilheira, na relação C:N e porcentagem de N ligada à lignina.

A relação C:N apresentou queda no início da avaliação e posterior estabilização (Figura 8) devido a diminuição da porcentagem de C (Figura 6) e aumento do teor de N ao longo do período de incubação (Figura 7) (LIU et al., 2011a, DUBEUX et al., 2006b). Silva et al., (2010) trabalhando com serrapilheira de *Brachiaria decumbens* encontraram alta relação C:N no começo do período de incubação (tempo zero). Tal efeito ocorreu devido à baixa concentração de N na serrapilheira incubada, ou seja, no início da avaliação. Os autores obtiveram média inicial próxima a 100 na relação C:N. Estes resultados corroboram com o observado neste estudo, onde ambos os tratamentos apresentaram diminuição da relação C:N após os primeiros dias de incubação (Figura 8).

Outra explicação para a diminuição da relação C:N no início da avaliação é a rápida decomposição inicial que pode ser atribuída à decomposição das frações orgânicas que são mais facilmente absorvidas pelos microrganismos presentes na superfície do solo. Essas frações incluem açúcares e aminoácidos livres (FREIRE et al., 2010).

Thomas e Asakawa (1993) sugeriram que a quantidade de lignina ligada ao N e a outros polifenóis são indicadores que influenciam na relação C:N e, conseqüentemente, na decomposição da serrapilheira a longo prazo. As relações de C:N e lignina:N são consideradas componentes importantes nos modelos de decomposição de serrapilheira, com valores menores associados a maior taxa de decomposição rápida (DUBEUX et al., 2006b).

Neste estudo, houve aumento na concentração de lignina ao longo dos tempos de incubação, sendo que ao final de 256 dias o teor médio encontrado foi de 17,75% (Figura 9). A curva obtida na imobilização de N e quantidade de lignina foram semelhantes, demonstrando a estreita relação entre compostos fenólicos e N. Parte do mineral que não foi utilizado pelos microrganismos pode ter sido retido à lignina, apesar de não ter sido avaliado neste estudo a relação direta lignina:N. Liu et al., (2011a) relataram aumento da concentração de lignina da primeira para a última amostragem. O aumento ocorreu de acordo com a progressão do período de avaliação, comportamento semelhante ao observado neste trabalho (Figura 9).

A queda observada no teor de P durante o período de avaliação (Figura 10) pode estar relacionada ao fato do material incubado ter sido recolhido do solo, onde não se tinha exatidão do grau de mineralização, pode ter influenciado os valores de P, visto que folhas velhas apresentam menor quantidade deste mineral. Dubeux et al., (2006a) relataram comportamento semelhante, havendo queda na quantidade de P da serrapilheira até o 128° dia de incubação, resultado semelhante ao observado neste estudo, onde a estabilização ocorreu por volta dos 128 dias de incubação da serrapilheira (Figura 10). Alguns autores relataram comportamento inverso ao observado neste estudo, ou seja, aumento do teor de P ao final do período de incubação (LIU et al., 2011a, AZENHA, 2014, RAPOSO, 2013).

O fato de os IAFr não serem determinantes nesse estudo para as porcentagens de C, N e relação C:N, assim como os estoques de C e N em amostras de solo (Tabela 4), denotam a importância da qualidade do material em decomposição. O material senescido no solo (folhas e colmos), assim como fezes e urina dos animais contribuem para os níveis mais altos de C e N nas camadas mais superficiais, por ser a faixa onde a deposição ocorre com maior intensidade, por isso as concentrações de C e N em amostras de solo diminuiriam de forma linear com o aumento das profundidades avaliadas.

O material mais lignificado resultante da planta em decomposição (serrapilheira), dificulta a ação de microrganismos na decomposição efetiva de grandes quantidades de N, explicando os maiores níveis deste mineral nas camadas superficiais. Devido ao

comportamento de C e N nas profundidades estudadas, a relação C:N manteve-se estável neste estudo.

Pesquisas demonstraram resultados semelhantes aos observados neste estudo para C e N, onde houve efeito apenas das profundidades estudadas. D'Andrea et al (2004) em trabalho com diferentes formas de plantio em Latossolo Vermelho distrófico relataram redução dos teores de C e N em profundidade e resultados não significativos na comparação de sistemas de manejo, principalmente em superfície. Neves et al., (2004), em trabalho com diferentes sistemas de produção e reflorestamento observaram diminuição nos níveis de C em 47% nas profundidades de 0-40 cm, valor próximo ao obtido no presente estudo, que foi 50,64% de redução de C entre as profundidades de 0-30 cm (Tabela 5).

Os estoques de C (EstC) e N (EstN) tiveram o mesmo padrão de resposta destes minerais de acordo com o citado acima, diminuindo de forma linear ($P < 0,05$) com o aumento das profundidades de coleta (Tabela 6). Os maiores valores de EstC e EstN nas primeiras camadas do solo partem do mesmo princípio citado anteriormente, por ser a faixa onde se encontram maiores quantidades de material orgânico. Assim, esse material é decomposto pelos microrganismos e incorporado ao solo.

Os efeitos das pastagens nas quantidades de C e N estocados são positivos em todas as profundidades, devido ao efeito rizosférico das raízes de gramíneas. O sistema radicular dos capins pertencentes à espécie *Panicum maximum* é abundante e volumoso, apresentando contínua renovação e elevado efeito rizosférico (REID; GOSS, 1980, D'ANDREA et al, 2004). O fato de as raízes das gramíneas serem profundas e não removidas anualmente, como acontece na agricultura, é positivo para as quantidades de C e N estocados no solo. Estes fatores em conjunto beneficiam a atividade de microrganismos do solo, elevando os níveis de C estocado e disponibilizando maior quantidade de N ao sistema.

Neves et al., (2004) obtiveram $21,6 \text{ T/ha}^{-1}$ de C estocado na profundidade 5-20 cm em pastagens convencionais, valor que corresponde a praticamente o dobro do observado neste trabalho, que foi de $10,63 \text{ T/ha}^{-1}$ na profundidade 10-20 cm (Tabela 6). D'Andrea et al., (2004) obtiveram com estudos em pastagens valores de EstC na

profundidade de 0-10 cm 23,27 T/ha⁻¹ e EstN na mesma profundidade 2,23 T/ha⁻¹, valores inferiores aos observados neste estudo, 32,20 T/ha⁻¹ e 3,59 T/ha⁻¹, respectivamente (Tabela 6).

5. CONCLUSÃO

Os diferentes IAFr não exerceram efeito sobre a composição química da serrapilheira e estoques de C e N em pastos de capim-tanzânia sob pastejo. A ação do tempo de decomposição sobre a serrapilheira foi determinante. A disposição e a qualidade do material a ser decomposto são importantes do ponto de vista dos estoques de C e N, visto que a camada superficial (0-10 cm) tem maior atividade microbiana e conseqüentemente maiores estoques desses minerais.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AOAC - ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis**. 16 ed. Washington: AOAC, 2000p., 1995.

APOLINÁRIO, V. X. O.; DUBEUX JR, J. C. B.; MELLO, A. C. L.; VENDRAMINI, J. M. B.; LIRA, M. A.; SANTOS, V. F.; MUIR, J. Litter decomposition of signalgrass grazed with different stocking rates and nitrogen fertilizer levels. **Agronomy Journal**. v. 106, i.2, p. 622-627, 2014.

AZENHA, M. V.; **Alturas de pastos de capim-marandú na interface planta-animal**. 2014. 129 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2014.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; AMADO, T.J.C.; MARTIN-NETO, L.; FERNANDES, S.V. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 54, n. 2, p. 101-109, 2000.

BEZERRA NETO, E.; BARRETO, L. P. **Métodos de Análises Químicas em Plantas**. Recife, UFRPE, Imprensa Universitária, 165p., 2004.

BROUGHAM, R. W. Effects of intensity of defoliation on regrowth of pasture. **Australian Journal Agricultural Research**. v. 7, p. 377-387, 1956.

CAPUTTI, G.; **Decomposição de serapilheira em pastos de *cynodon spp.* cv tifton 85 manejados com índices de área foliar residual pastejados por ovinos**. 2014. 69 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2014.

COLEMAM, D. C. AND CROSSLEY, D. A.. Fundamentals of Soil Ecology. **Academic Press**, London, 1996.

D'ANDREA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; GUILHERME, L. R. G. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 2, p. 179-186, fev. 2004.

DUBEUX JR, J. C. B.; SOLLENBERGER, L.E.; INTERRANTE; S. M. VENDRAMINI, J. M. B. STEWART JR., R. L. Litter decomposition and mineralization in bahiagrass pastures managed at different intensities. **Crop Science**, v. 46, p. 1305-1310. 2006a.

DUBEUX, J.C.B.; SOLLENBERGER, L.E.; VENDRAMINI, J.M.B.; STEWART, R.L.; INTERRANTE, S.M. Litter mass, deposition rate, and chemical composition in bahiagrass pastures managed at different intensities. **Crop Science**. v. 46, p. 1299–1304, 2006b.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA-CNPQ, 212 p., 1997.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Seminário Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Brasília: EMBRAPA, 2a ed. 306p., 2006.

FREIRE, J. L.; DUBEUX JÚNIOR, J. C. B.; LIRA, M. A.; FERREIRA, R. L. C.; SANTOS, M. V. F. & FREITAS, E. V. Deposição e composição química de serrapilheira em um bosque de sabiá. **R. Bras. Zootec.**, v.39, p.1650-1658, 2010.

FREITAS, P. L.; BLANCANEUX, P.; GAVINELLI, E.; LARRÉ-LARROUY, M.; FELLER, C. Nível e natureza do estoque orgânico de Latossolos sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 1, p. 157-170, 2000.

LIU, K.; SOLLENBERGER, L.E.; SILVEIRA, M. L.; VENDRAMINI, J. M.B.; NEWMAN, Y.C. Grazing intensity and nitrogen fertilization affect litter responses in Tifton 85 bermudagrass pastures: I. Mass, deposition rate, and chemical composition. **Agronomy Journal**, v. 103, p. 156-162, 2011a.

LIU, K.; SOLLENBERGER, L.E.; SILVEIRA, M. L.; VENDRAMINI, J. M.B.; NEWMAN, Y.C. Grazing intensity and nitrogen fertilization affect litter responses in Tifton 85 bermudagrass pastures: II. Decomposition and nutrient mineralization. **Agronomy Journal**, v. 103, p. 163-168, 2011b.

LITTELL, R. C.; MILLIKEN, G. A.; STROUP, W. W.; WOLFINGER, R. D.; SCHABENBERGER, O. **Sas for Mixed Models**. 2 ed. SAS Institute Inc. 2006. 813p.

MONTEIRO, H. C. F.; CANTARUTTI, R. B.; NASCIMENTO JÚNIOR, D.; REGAZZI, A. J.; FONSECA, D. M. Dinâmica de Decomposição e Mineralização de Nitrogênio em Função da Qualidade de Resíduos de Gramíneas e Leguminosas Forrageiras. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.3, p.1092-1102, 2002.

MOREIRA, F. M. S. SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2ª ed. Lavras: Editora UFLA, 729 p., 2006.

NEILL, C.; PICCOLO, M.C.; CERRI, C.C.; STEUDLER, P.A.; MELILLO, J.M.; BRITO, M. Net nitrogen mineralization and net nitrification rates in soils following deforestation for pasture across the southwestern Brazilian Amazon Basin landscape. **Oecologia**. v.110, p. 243– 252, 1997.

NEVES, C. M. N.; SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; MACEDO, R. L. G.; TOKURA, A. M. Estoque de carbono em sistemas agrossilvopastoril, pastagem e eucalipto sob cultivo convencional na região noroeste do estado de Minas Gerais. **Ciências Agrotécnicas**, v.28, n.5, p.1038-1046, 2004.

RAPOSO, E. **Dinâmica de carbono e nitrogênio em pastos de capim-xaraés submetidos a diferentes resíduos pós-pastejo**. 2013. 70f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2013.

RAPOSO, E.; GALZERANO, L.; PANOSSO, A. R.; AZENHA, M. V.; JANUSCKIEWICZ, E. R.; RUGGIERI, A. C. Litter decomposition of Xaraés grass pasture subjected to different post-grazing residuals. **Tropical Grasslands**. v. 2, p. 133-135, 2014.

REED, H.E., BLAIR, J.M.; WALL, D.; SEASTEDT, T. R. Impacts of management legacies on litter decomposition in response to reduced precipitation in a tallgrass prairie. **Appl. Soil Ecol.** 42:79–85, 2009.

REID, J.B.; GOSS, M.J. Changes in the aggregate stability of a sandy loam affected by growing roots of perennial ryegrass (*Lolium perene*). **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.31, p.325-328, 1980.

ROBBINS, G.B.; BUSHELL, J.J.; MCKEON, G.M. Nitrogen immobilization in decomposing litter contributes to productivity decline in ageing pastures of green panic (*Panicum maximum* var. *trichoglume*). **Journal of Agriculture Science**. 113:401–406, 1989.

SALAMANCA, E.F., KANEKO, N.; KATAGIRL, S. Rainfall manipulation effects on litter decomposition and microbial biomass of the forest floor. **Appl. Soil Ecol.** 22:271–281, 2003.

SAS Institute. 2008. SAS/STAT 9.2 **User’s Guide**. SAS Institute Inc, Cary, NC.

SANTOS, P.M.; BALSALOBRE, M. A.; CORSI, M. Características morfogénicas e taxa de acúmulo de forragem do capim-mombaça submetido a três intervalos de pastejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, n.4, p.843-851, 2004.

SILVA, D. J.; QUEIROZ, A.C. **Análise de alimentos (métodos químicos e biológicos)**. 3.ed. Viçosa. Universidade Federal de Viçosa, 2002. 235p.

SILVA, H.M.S., DUBEUX JR., J.C.B, SANTOS, M.V.F., LIRA, M.A., MELLO, A. C. L.; LIRA JR., M. A.; FERRAZ, L. V. Litter decomposition of *Brachiaria decumbens* Stapf. and *Calopogonium mucunoides* Desv. in the rumen and in the field: a comparative analysis. **Nutrient Cycling in Agroecosystems Journal**. n.87, p. 151-158, 2009.

THOMAS, R.J.; ASAKAWA, N.M Decomposition of leaf litter from tropical grasses and legumes. **Soil Biology Biochemistry**. V. 25:1351–1361, 1993.

CAPÍTULO 3 – Emissão de CO₂ e atividade enzimática em solos de pastos de capim-tanzânia sob índices de área foliar residual

RESUMO- Grande parte dos ruminantes no Brasil são criados à pasto, justificando a condução de estudos para demonstrar que as pastagens, através do manejo correto pode ser eficiente no processo de mitigação de CO₂, aumentando as reservas de C no solo e melhorando a atividade de microrganismos (produção de enzimas). Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi quantificar os efeitos dos índices de área foliar residual (IAFr) em pastos de capim-tanzânia submetidos a diferentes intensidades de pastejo rotativo sobre as emissões de CO₂ e atividade das enzimas celulase, arilsulfatase e desidrogenase, no solo. O experimento foi conduzido no setor de Caprinocultura da UNESP – Jaboticabal no período de janeiro de 2011 a maio de 2012. Os tratamentos consistiram de três IAFr (0,8; 1,6; 2,4), com quatro blocos para as avaliações, totalizando 12 unidades experimentais. As emissões de CO₂ do solo foram registradas a cada 15 dias pela manhã (8 às 10 horas) utilizando-se uma câmara de fluxo LI-COR (LI-8100). As medições de temperatura foram feitas nos mesmos pontos onde foram realizadas as avaliações de CO₂. Para avaliação da atividade enzimática no solo foram coletadas três amostras na profundidade de 0 – 20 cm por piquete a cada 28 dias durante todo o período experimental. Nestas amostras foram realizadas determinações da atividade de: celulase, arilsulfatase e desidrogenase. Os tratamentos impostos (IAFr) foram significativos ($P < 0,05$) somente para a enzima celulase. As estações do ano influenciaram as emissões de CO₂ e as enzimas arilsulfatase e desidrogenase ($P < 0,05$). Não houve correlação entre emissões de CO₂ e temperatura do solo durante o verão ($P > 0,05$). No outono houve efeito significativo ($P < 0,01$) para correlação entre CO₂ e temperatura do solo, porém, no inverno e primavera apenas os IAFr 1,6 e 0,8 tiveram correlação significativa ($P < 0,05$), respectivamente. Os diferentes IAFr não afetam as emissões de CO₂ e temperatura do solo. Os IAFr não exerceram efeito sobre a atividade de arilsulfatase e desidrogenase. A enzima celulase foi influenciada pelos IAFr. As estações do ano (clima) exerceram grande efeito sobre todas as variáveis estudadas.

Palavras-chave: dióxido de carbono, enzimas do solo, *panicum maximum*, temperatura do solo.

1. INTRODUÇÃO

A criação de ruminantes no Brasil ocorre em grande parte à pasto, e esta condição tem sido alvo de críticas por meio da comunidade científica devido as consequências que esta atividade pode trazer ao meio ambiente. Segundo previsões, em função da dependência do desenvolvimento e produtividade das culturas quanto aos fatores climáticos, a agropecuária é um dos setores da atividade humana mais vulnerável aos efeitos de possíveis alterações climáticas, com repercussões negativas em relação à segurança alimentar em escala global (IPCC, 2001).

As atividades antropogênicas, em especial a agropecuária, traz como consequência o aumento das emissões de gases tóxicos ao meio ambiente, em particular o dióxido de carbono (CO₂). O transporte desse gás até a superfície faz parte do processo de emissão, sendo controlado pelo gradiente de concentração de CO₂ existente entre o solo e a atmosfera e também por atributos químicos, físicos e biológicos (BICALHO et al., 2014).

Técnicas de manejo que visem melhorar a capacidade produtiva de maneira sustentável são estudadas, principalmente em produção à pasto. Sabe-se que pastagens bem manejadas podem se tornar drenos de C, diminuindo a quantidade de C-CO₂ liberada para a atmosfera e aumentando seu estoque no solo (BODDEY et al., 2010).

O índice de área foliar residual (IAFr) pode ser uma ferramenta eficaz para determinação do momento ideal de se interromper o pastejo dos animais. Nesta condição, a degradação das pastagens pode ser evitada, demandando menor necessidade de reformas que utilizam muitas vezes grandes quantidades de adubos químicos e máquinas agrícolas, elevando as emissões de gases, em particular o CO₂.

Através do uso correto do IAFr, as pastagens retornam mais rápido ao ponto de pastejo, devido à maior quantidade de folhas remanescentes realizando fotossíntese, melhorando as características estruturais do pasto. Trabalhos demonstram que o IAFr modifica a estrutura do dossel, o perfilhamento, relação entre os componentes folha, colmo e material morto, além de acúmulo de resíduo entre os ciclos de pastejo (GALZERANO et al., 2013, SILVA et al., 2013).

Para avaliar os efeitos do manejo e das condições ambientais sobre aspectos do solo, deve ser considerado características físicas, químicas e biológicas. O tempo gasto para determinação de mudanças através das características físicas é maior, em contrapartida, estudos avaliando os atributos químicos e biológicos desenvolvem resultados mais rápidos em decorrência do manejo empregado (BAYER; MIELNICZUK, 2008). Dentre as avaliações químicas e biológicas está a atividade enzimática do solo. Um manejo adequado em pastagens pode elevar a quantidade de matéria orgânica do solo (MOS) através da deposição e decomposição de material de melhor qualidade. O aumento da MOS é medido através da atividade microbiana, que é expressa pela sua produção enzimática, demonstrando a relevância de trabalhos com avaliação de atividade microbiana do solo.

Resultados de pesquisas que determinem técnicas de pastejo visando menores efluxos de CO₂ e aumento da qualidade do solo através da análise da atividade enzimática podem ser o grande diferencial para o desenvolvimento de uma agropecuária mais produtiva. Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi quantificar o efeito de diferentes índices de área foliar residual em pastos de capim-tanzânia sob lotação intermitente sobre as emissões de CO₂ e temperatura do solo, bem como a atividade das enzimas celulase, arilsulfatase e desidrogenase no solo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local e área experimental

O experimento foi conduzido no Setor de Caprinocultura do Departamento de Zootecnia da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária – UNESP, Campus de Jaboticabal, localizada a 21°15'22" de latitude sul, longitude de 48°18'058"W, a uma altitude de 595 m.

O clima predominante de Jaboticabal-SP, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo Aw, descrito como tropical de estiagem de inverno, com estação seca definida (abril a setembro) e concentração das chuvas nos meses de verão (outubro a março).

A área de pastagem de capim-tanzânia (*Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia 1) foi formada a 15 anos, sendo utilizada para o manejo de caprinos até o ano de 2012. A área total corresponde a 1,2 ha, que foi subdividida em 18 piquetes experimentais (243 m² /piquete), dos quais 12 piquetes foram utilizados no presente experimento, sendo o restante da área utilizado para outras avaliações e como piquetes de reserva.

2.2 Dados climáticos

Os dados climáticos referentes ao período experimental, como temperaturas máxima e mínima e precipitação podem ser visualizados na Figura 11. A insolação (em horas) pode ser vista na Figura 12. Os dados foram obtidos na Estação Agroclimática do Departamento de Ciências Exatas da UNESP/Jaboticabal.

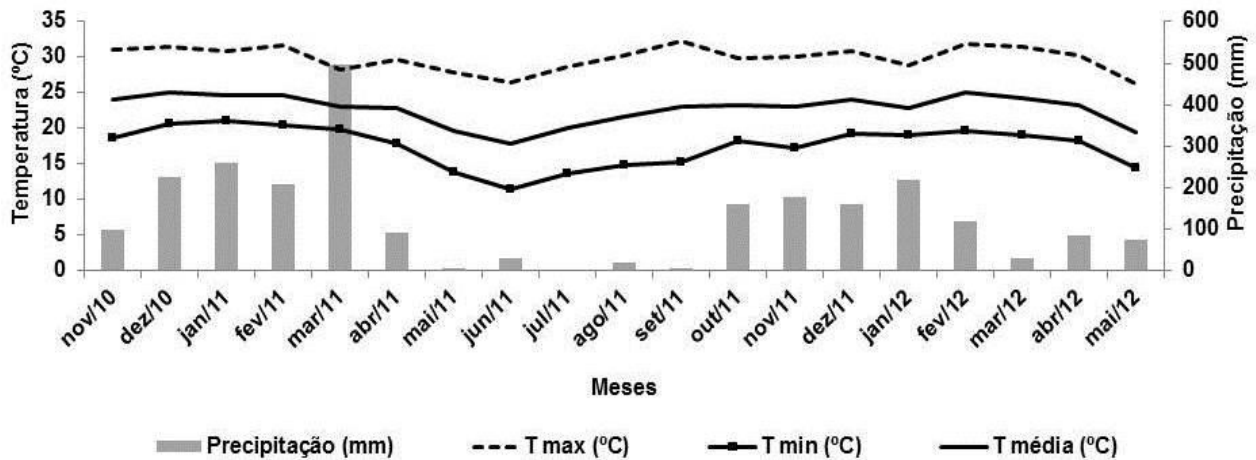


Figura 1. Temperaturas máxima, média e mínima e precipitação pluvial, durante o período experimental. Fonte: Estação de Agrometeorologia da Unesp, Campus de Jaboticabal-SP.

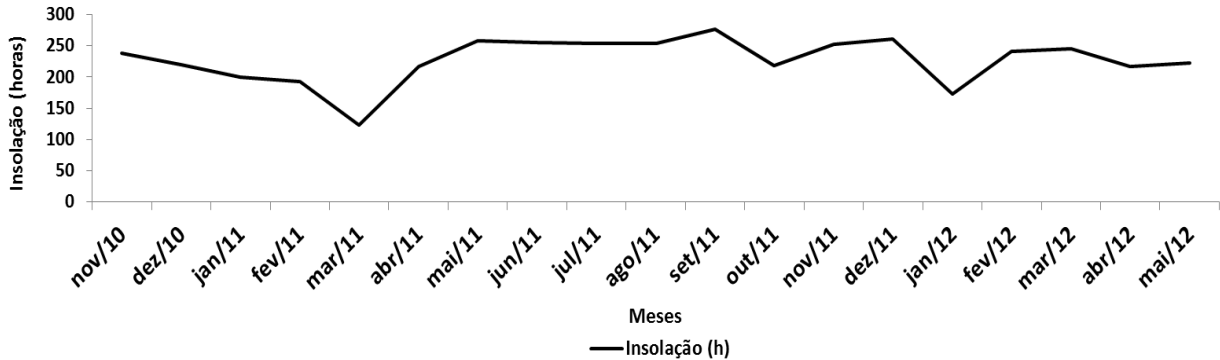


Figura 2. Insolação em horas, durante o período experimental. Fonte: Estação de Agrometeorologia da Unesp, Campus de Jaboticabal-SP.

2.3 Solo da área e período experimental

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico, típico textura argilosa A moderado, caulínico hipoférrico com relevo suave ondulado (EMBRAPA, 2006).

No período pré-experimental foi realizada uma coleta de amostra de solo no ano de 2010 e outra em 2011, na profundidade de 0-20 cm (Tabela 1), para análise da fertilidade do solo e verificação da necessidade de correção de acidez (com calcário

reativo) e aplicação dos adubos necessários. As análises das características químicas do solo foram realizadas no Departamento de Solos e Adubos da FCAV – UNESP, Campus Jaboticabal.

A adubação de manutenção da área experimental consistiu de 100 kg de P_2O_5 e 100 kg de K_2O (formulação comercial 0 – 20 – 20), aplicados em dose única, antes do pastejo de imposição dos tratamentos (novembro/2010) e 200 kg de N (fonte ureia), parcelado em quatro aplicações. A primeira aplicação nitrogenada foi realizada no mês de dezembro de 2010 e as três doses restantes foram aplicadas assim que os piquetes foram pastejados. No período em que não houve pastejo, não foram aplicadas novas doses de nitrogênio. Em dezembro de 2011 foi realizada nova análise de solo da área experimental, porém, não foi necessária nova adubação de manutenção.

O período experimental foi de dezembro de 2010 a maio de 2012.

Tabela 1. Resultado das análises de fertilidade do solo na área experimental

Ano	pH CaCl ₂	MO g/dm ³	P _{resina} Mg/dm ³	K	Ca	Mg	H+Al -----mmol/m ³ -----	SB	V
2010	5.2	26	21	2.6	29	10	28	41.6	60
2011	5.2	32	40	3.4	33	11	31	47.4	60

pH = acidez (água), MO = matéria orgânica, P = fósforo, K = potássio, Ca = cálcio, Mg = magnésio, hidrogênio mais alumínio, SB= soma de bases, T = capacidade de troca catiônica, V = saturação por bases. *Análise de solo realizada no Departamento de Solos e Adubos da FCAV- Unesp-Jaboticabal.

2.4 Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos consistiram em três índices de área foliar residual (IAFr 0,8; 1,6; 2,4). Foi adotado o delineamento experimental em blocos casualizados, sendo utilizados quatro blocos experimentais com três tratamentos por bloco, totalizando 12 piquetes experimentais. O restante da área foi utilizado como piquetes de reserva.

As análises de emissão de CO_2 do solo foram analisadas em delineamento inteiramente casualizado, onde cada ponto de leitura foi considerado uma unidade amostral. As leituras foram agrupadas por estações do ano referentes à 2011,

organizadas da seguinte forma: verão, outono, inverno e primavera, definidas como medidas repetidas no tempo. As análises referentes às atividades enzimáticas do solo foram analisadas em blocos casualizados, também agrupadas por estações do ano referentes à 2011. Foram organizadas da mesma forma: verão, outono, inverno e primavera, sendo definidas como medidas repetidas no tempo.

2.5 Animais experimentais e método de pastejo

Foram utilizados para o pastejo cabras e cabritos da raça Anglonubiano, com peso médio de 40 kg e 15 kg, respectivamente. Diariamente, os animais foram conduzidos para a área experimental e, ao final do dia, recolhidos para o galpão do capril, onde receberam sal mineral e ração (silagem + concentrado). O método de pastejo adotado foi de lotação intermitente.

2.6 Monitoramento das condições experimentais

No pré-pastejo, foram avaliados semanalmente o IAF e interceptação luminosa IL do dossel forrageiro, utilizando-se o aparelho analisador de dossel AccuPAR LP-80 da Decagon (USA). A técnica combinou medidas tomadas com o sensor acima do dossel e próximas ao nível do solo. Foram realizadas 20 leituras, ao acaso, por unidade experimental ou parcela, entre as 10 e 15 horas. Sempre que o piquete atingia 95% de IL, os animais iniciavam o pastejo. Durante esse período as medições do IAF eram diárias. Uma vez atingido o resíduo (0,8; 1,6 e 2,4), os animais eram conduzidos ao próximo piquete que já se encontrava no critério de entrada, ou a uma área de reserva, até que a área seguinte alcançasse os 95% de IL.

O período médio de descanso ou rebrotação, com três dias de ocupação, foi de 30, 29 e 28 dias, nos pastos mantidos sob IAFr 0,8, 1,6 e 2,4, respectivamente, durante o período considerado como “águas” (dezembro à abril). Nos anos de 2011 e 2012

foram feitos quatro ciclos de pastejo em cada ano . Durante o período de inverno não houve manejo dos animais em pastagens, pois não houve retorno do capim aos 95% de IL. As coletas de solo prosseguiram com período pré-fixado de 28 dias, tempo médio observado entre ciclos de pastejo durante o verão.

2.7 Alturas do dossel no pré e pós-pastejo

Foram feitas medições de altura do dossel no pré-pastejo e pós-pastejo utilizando-se régua do tipo bengala graduada em centímetros, composta por tubo rígido de PVC com diâmetro de $\frac{3}{4}$. Foram tomados 20 pontos ao acaso por piquete, sendo considerada a altura média do dossel quando o prego presente na bengala atingisse a superfície média mais alta da vegetação no ponto de amostragem.

2.8 Determinação da massa de forragem

As coletas de massa de forragem foram realizadas durante o período em que os animais estavam em pastejo, que corresponde aos meses de janeiro/2011 à maio/2011 e janeiro/2012 à maio/2012. Colheu-se dois pontos por piquete nas alturas médias, totalizando duas amostras colhidas por piquete. Através dos valores de massa de cada estimou-se a carga animal por tratamento. O ajuste da lotação animal (carga animal) foi feito pelo método “put and take”, considerando o consumo de uma cabra adulta em 4% do peso vivo. Desta forma, foi possível obter a carga animal por área e por dia de pastejo.

Para a amostragem dos piquetes, foi utilizado um aro de metal de 0,50 m², sendo a forragem cortada ao nível do solo com auxílio de tesoura de poda. Após o corte, as amostras foram colocadas em sacos plásticos e pesadas. Após as amostras serem pesadas, foi retirada uma subamostra de aproximadamente 400g para posterior

separação dos componentes morfológicos: folha, colmo + bainha e material morto, sendo cada componente pesado separadamente.

Em seguida as diferentes frações foram acondicionadas em sacos de papel e levadas à estufa de circulação forçada de ar (55 °C) durante 72 horas e pesadas novamente. Então foi possível calcular a massa seca de colmo (MSC), massa seca de material morto (MSMM), massa seca de folha (MSF), relação lâmina foliar:colmo (F/C) e massa seca total (MST).

Este procedimento foi realizado antes da entrada (pré pastejo) e logo após a saída dos animais do piquete (pós pastejo), em todos os ciclos de pastejo.

2.9 Emissão de CO₂ no solo

As emissões de CO₂ do solo foram registradas a cada 15 dias pela manhã (8 às 10 horas) utilizando-se uma câmara de fluxo fabricada pela companhia LI-COR (LI-8100) (Figura 13). O sistema LI-8100 monitora a concentração de CO₂ no interior da câmara e esta é operada próxima à concentração de CO₂ da atmosfera na área experimental.

A câmara de solo é um sistema fechado, com volume interno de 991 cm³, e área circular de contato com o solo de 71,6 cm² (diâmetro de 10 cm) que analisa a concentração de CO₂ no seu interior por meio de espectroscopia de absorção ótica na região do infravermelho. A câmara foi instalada sobre um colar de PVC (Figura 3), previamente colocado no solo em cada um dos pontos amostrais. A utilização de colares de PVC é justificada pela probabilidade de ocorrerem distúrbios provenientes pela inserção da câmara diretamente no solo, como a quebra da estrutura porosa, que poderia acarretar em aumento da emissão de CO₂ superestimando o valor naquele ponto (PANOSSO, 2008).



Figura 3. Câmara de fluxo LI-COR (LI-8100) e colar de PVC utilizados.

A temperatura do solo (T_{solo}) foi avaliada em cada ponto onde se encontrava os anéis de PVC, utilizando-se termômetro digital. O equipamento foi inserido no interior do solo o mais perpendicular possível em relação à superfície, na região próxima ao local onde foram instalados os colares de PVC para a avaliação da emissão de CO_2 . As leituras da temperatura do solo foram feitas durante o período em que o sistema LI-8100 estivesse realizando as medições de emissão de CO_2 do solo.

2.10. Atividade enzimática

Foram coletadas com o auxílio de um trado tipo holandês, três amostras de solo na profundidade de 0 – 20 cm por piquete, ao final de cada período de pastejo. No período em que não houve pastejo (maio a dezembro de 2011), foi pré-fixada uma coleta a cada 28 dias, tempo médio caracterizado pelo período de descanso dos piquetes durante os pastejos. Posteriormente, as amostras foram peneiradas em peneira de malha de dois milímetros, acondicionadas em potes plásticos de 250 ml e mantidas em câmara fria (10°C) até o momento das análises.

2.10.1. Atividade da celulase

A atividade foi medida conforme descrito por Melo et al. (2010), segundo padronização de Pancholy e Rice (1973). O método consiste na incubação da amostra de solo com o substrato da enzima (a celulose ou um substrato derivado, como a carboximetilcelulose), avaliando-se então, a quantidade de açúcares redutores produzidos, expressos como glicose.

2.10.2. Atividade da arilsulfatase

A atividade foi medida pelo método de Melo et al. (2010), segundo padronização de Tabatabai e Bremner (1970), que consiste na incubação da amostra de solo com solução de p-nitrofenil sulfato de potássio (substrato), dosando-se a quantidade de p-nitrofenol liberada por espectrofotometria na região de luz visível.

2.10.3. Atividade da desidrogenase

O método de análise utilizado foi o descrito por Melo et al. (2010), segundo padronização de Thalmann (1968), e se baseia na determinação da taxa de redução do cloreto de trifeniltetrazólio a trifenil formazam por uma quantidade de solo, incubado a 30°C por 24 horas.

2.11 Análises estatísticas

Os dados de emissão de CO₂ foram analisados em delineamento inteiramente casualizado com medidas repetidas no tempo, onde “tempo” foi definido como estações do ano. Utilizou-se o procedimento PROC MIXED do SAS (2008), versão 9.2. Foi

selecionada a estrutura de covariância que melhor se ajustou aos dados. Utilizou-se teste de média (teste de Tukey) a 5% de probabilidade entre as estações do ano.

Para os dados de atividade enzimática do solo, foram utilizados blocos casualizados com medidas repetidas no tempo, onde “tempo” foi definido como estações do ano. Utilizou-se o procedimento PROC MIXED do SAS (2008), versão 9.2. Selecionou-se a estrutura de covariância que melhor se ajustou aos dados. Também utilizou-se teste de média (teste de Tukey) a 5% de probabilidade entre as estações do ano.

3. RESULTADOS

Os resultados das análises de variância relacionadas às emissões de CO₂, temperatura e atividade enzimática do solo encontram-se na Tabela 2. Os IAFr exerceram efeito significativo na atividade de celulase (P=0,0435), para as demais variáveis não houve efeito significativo (P<0,05). O efeito principal “Estações do Ano” foi significativo (P<0,001) para todas as variáveis analisadas (Tabela 2).

Tabela 2. Análise de variância das características de emissão de CO₂, temperatura do solo e atividades enzimáticas

	Valor de P				
	ECO ₂	TSolo	Cel.	Aril.	Desid.
F para BL	-	-	ns	ns	ns
F para IAFr	ns	ns	0,0435	ns	ns
F para Est.	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
F para IAFr x Est.	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	14,51	31,16	34,75	13,27	9,95

F=Teste F; (P<0,05=significativo); ns= não significativo, P>0,05; BL.= Efeito de Bloco; Est.=Estações do ano; IAFr x Est.= interação tratamento x tempo; Cel.=Celulase; Aril.=Arilsulfatase; Desid.=Desidrogenase; ECO₂=Emissão de CO₂; TSolo.=Temperatura do solo; CV= coeficiente de variação.

3.1. Emissão de CO₂ e temperatura do solo

Nas tabelas 3 e 4 estão apresentados os valores de emissão de CO₂ e temperatura aferidos no solo dos piquetes de pastos de capim-tanzânia sob diferentes IAFr. Para as emissões de CO₂ e temperatura no solo, os tratamentos impostos não foram determinantes ($P>0,05$). A média geral de emissões de CO₂ no verão ($4,80 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) foi superior quando comparada entre as demais estações do ano. A médias do outono e inverno não diferiram estatisticamente, apresentando queda nas emissões.

Tabela 3. Emissão de CO₂ no solo ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) em pastagens de capim-tanzânia sob diferentes IAFr em lotação intermitente, nas estações do ano de 2011

IAFr	Estações do ano				Geral
	Verão	Outono	Inverno	Primavera	
0,8	4,82	3,46	1,94	4,50	3,68 A
1,6	4,89	3,37	2,02	4,50	3,69 A
2,4	4,70	3,80	2,06	4,48	3,76 A
Geral	4,80 a	3,54 c	2,01 c	4,49 b	

*Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, $P<0,05$).

Para as temperaturas aferidas no solo, a médias do verão e outono foram semelhantes ($P>0,05$), diferindo de inverno e primavera.

Tabela 4. Temperatura do solo ($^{\circ}\text{C}$) em pastagens de capim-tanzânia sob diferentes IAFr em lotação intermitente, nas estações do ano de 2011

IAFr	Estações do ano				Geral
	Verão	Outono	Inverno	Primavera	
0,8	23,33	19,29	18,59	22,56	20,93 A
1,6	23,41	19,63	18,62	22,69	21,09 A
2,4	23,32	19,16	17,45	22,47	20,60 A
Geral	23,36 a	19,36 a	18,22 c	22,56 b	

*Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, $P<0,05$).

Os valores de correlação entre as variáveis de emissão de CO₂ e temperatura do solo encontram-se na Tabela 5. Observa-se que houve correlação significativa ($P<0,001$) para os tratamentos (IAFr) independente da estação do ano avaliada. Para

as estações de outono, inverno e primavera houve correlação significativa ($P < 0,05$). No verão não foi observada correlação entre as variáveis ($P > 0,05$) dentro dos tratamentos (IAFr). No outono houve efeito significativo ($P < 0,001$) para correlação entre as variáveis e entre os IAFr. No inverno e primavera, os IAFr 1,6 e 0,8 apresentaram correlação significativa ($P < 0,05$) entre as variáveis, respectivamente.

Tabela 5. Correlação entre as variáveis de emissão de CO_2 e temperatura do solo em pastagens de capim-tanzânia sob diferentes IAFr em lotação intermitente, nas estações do ano de 2011

IAFr	Estações do ano				Geral
	Verão	Outono	Inverno	Primavera	
0,8	ns	0,6994 ($P < 0,001$)	ns	0,2829 ($P = 0,0204$)	0,5430 ($P < 0,001$)
1,6	ns	0,7076 ($P < 0,001$)	-0,2620 ($P = 0,0285$)	ns	0,4450 ($P < 0,001$)
2,4	ns	0,7249 ($P < 0,001$)	ns	ns	0,5442 ($P < 0,001$)
Geral	ns	0,0687 ($P < 0,001$)	-0,1796 ($P = 0,0093$)	0,1578 ($P = 0,0242$)	

$P < 0,05$ =correlação significativa; $P > 0,05$ =correlação não-significativa; ns= não significativo, $P > 0,05$.

3.2. Atividade enzimática do solo

Para a atividade de celulase no solo houve efeito significativo dos IAFr ($P = 0,0408$), apresentando diferença 25,10% entre os tratamentos (Tabela 6). Foi verificado efeito significativo ($P < 0,001$) entre as estações do ano avaliadas e a atividade da enzima celulase. A atividade desta enzima foi maior ($3,61 \mu\text{g glicose g}^{-1} \text{TFSE h}^{-1}$) no verão e menor ($1,28 \mu\text{g glicose g}^{-1} \text{TFSE h}^{-1}$) no inverno, diferença de 64,54%.

Tabela 6. Atividade da enzima celulase (μg glicose g^{-1} TFSE h^{-1}) do solo em pastagens de capim-tanzânia sob diferentes IAFr em lotação intermitente, nas estações do ano de 2011

IAFr	Estações do ano				Geral
	Verão	Outono	Inverno	Primavera	
0,8	2,93	1,58	1,16	1,73	1,85 B
1,6	3,53	2,18	1,38	1,86	2,24 AB
2,4	4,36	2,24	1,30	1,96	2,47 A
Geral	3,61 a	2,00 b	1,28 c	1,85 b	

*Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, $P < 0,05$).

Na atividade de arilsulfatase no solo (Tabela 7) foi observado apenas efeito das estações do ano ($P < 0,001$). A maior e menores atividades registradas foram no verão ($15,06 \mu\text{g}$ PNF g^{-1} TFSE h^{-1}), outono ($10,60 \mu\text{g}$ PNF g^{-1} TFSE h^{-1}) e inverno ($6,85 \mu\text{g}$ PNF g^{-1} TFSE h^{-1}), respectivamente.

Tabela 7. Atividade da enzima arilsulfatase (μg PNF g^{-1} TFSE h^{-1}) do solo em pastagens de capim-tanzânia sob diferentes IAFr em lotação intermitente, nas estações do ano de 2011

IAFr	Estações do ano				Geral
	Verão	Outono	Inverno	Primavera	
0,8	14,92	10,90	6,69	10,92	10,86 A
1,6	15,18	10,75	6,75	11,63	11,08 A
2,4	15,08	10,15	7,12	11,94	11,07 A
Geral	15,06 a	10,60 c	6,85 c	11,50 b	

*Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, $P < 0,05$).

Para desidrogenase, houve efeito significativo ($P < 0,001$) para estações do ano (Tabela 8), não sendo observada influência dos IAFr sobre a atividade desta enzima. Maiores valores foram obtidos no verão ($2,27 \mu\text{g}$ TPF g^{-1} TFSE h^{-1}) e menores no outono ($1,98 \mu\text{g}$ TPF g^{-1} TFSE h^{-1}) e inverno ($1,64 \mu\text{g}$ TPF g^{-1} TFSE h^{-1}).

Tabela 8. Atividade da enzima desidrogenase ($\mu\text{g TPF g}^{-1} \text{TFSE h}^{-1}$) do solo em pastagens de capim-tanzânia sob diferentes IAFr em lotação intermitente, nas estações do ano de 2011

IAFr	Estações do ano				Geral
	Verão	Outono	Inverno	Primavera	
0,8	2,21	1,91	1,58	2,01	1,93 A
1,6	2,45	1,96	1,70	2,02	2,03 A
2,4	2,17	2,08	1,67	1,99	1,97 A
Geral	2,27 a	1,98 c	1,64 c	2,01 b	

*Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, $P < 0,05$).

4. DISCUSSÃO

Conforme observado nos dados, durante os meses mais quentes e com maior precipitação (Figura 1), as emissões de CO_2 e valores de temperatura no solo foram maiores, com média de $4,80 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ no verão e $4,49 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ na primavera (Tabela 9) e $23,36$ e $22,56$ °C nas mesmas estações avaliadas, respectivamente (Tabela 10), demonstrando a estreita relação entre efeitos climáticos e produção de CO_2 .

No processo de decomposição pelos microrganismos (bactérias e fungos) de todo o material orgânico e na respiração das raízes das plantas, ocorre liberação de CO_2 no solo, o qual é influenciado pela umidade e temperatura. Todo esse processo é denominado de respiração do solo. Durante os meses mais frios e sem chuva, a atividade microbiana diminui significativamente, devido à sensibilidade desses microrganismos às baixas temperaturas e restrição hídrica. Quando se inicia o período chuvoso e há o aumento das temperaturas, acontece grande atividade microbiana no solo devido às condições climáticas favoráveis e, conseqüentemente, maior produção e liberação de CO_2 (SILVA JR. et al., 2004). Estas informações corroboram com os dados obtidos neste estudo, onde houveram maiores emissões de CO_2 e valores de temperatura mais elevados no verão (Tabelas 3 e 4), assim como maior incidência de chuvas (Figura 1).

Galzerano et al., (2014), em estudo avaliando a emissão de CO₂, características do dossel e o acúmulo de biomassa em pastos de capim-pensacola sob frequências de desfolhação, obtiveram média de 4,09 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ de CO₂ emitido durante os meses de maio, junho e julho, onde grande parte das avaliações ocorreram durante o outono. Este valor foi próximo ao obtido neste estudo, que foi de 3,54 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ no mesmo período (Tabela 3). Os autores concluíram que não houve diferença para as emissões de CO₂ entre os regimes de desfolhação, e que a produção desse gás está mais relacionada às condições climáticas (umidade e temperatura do solo)

Segundo Luo e Zhou (2006), outro fator influente na emissão de CO₂ é a entrada da água pelos poros do solo. Esse processo causa a expulsão do ar, e conseqüentemente o CO₂ ali presente, além de favorecer a atividade microbiana pelo aumento da umidade no solo, elevando a produção deste gás. Porém, existe um limite em relação ao aumento da umidade do solo e emissão de CO₂, que é a média de 30% dos espaços porosos no solo preenchidos com água. A partir deste limite o CO₂ emitido diminui (VARELLA et al., 2004). Em estudo avaliando a variação temporal e espacial nas emissões de CO₂ em áreas de plantação de cana-de-açúcar, Brito et al., (2009) obtiveram média de 5,68 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ durante o período chuvoso e 1,70 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ no período seco, valores próximos aos observados neste trabalho nos mesmos períodos de avaliação, que foram de 4,80 e 2,01 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, respectivamente (Tabela 3).

Analisando os dados de correlação entre CO₂ e temperatura no solo (Tabela 5), pode-se observar que todas as relações durante as estações do ano foram significativas em pelo menos um dos tratamentos impostos, evidenciando a maior atividade microbiana em temperaturas mais altas. Porém, no verão não foi observado correlação entre CO₂ e temperatura do solo. Liebig et al., (2013) em trabalho avaliando diferentes sistemas de manejo de pastagens nativas em região semiárida dos EUA, relataram ausência de correlação entre emissão de CO₂ e a temperatura do solo no verão. Segundo os autores, durante este período havia condições estáveis de temperatura no solo, sendo a umidade proveniente das chuvas responsável pelo ambiente propício para as atividades microbianas, justificando as maiores emissões de CO₂ do solo. Tal fato também justifica as maiores emissões deste gás verificada no

presente estudo durante o verão e a correlação não significativa entre CO₂ e temperatura nesta época do ano no presente estudo.

A intensidade de desfolha mais severa imposta sobre os piquetes manejados com IAFr 0,8 resultou em menor quantidade de MSF no pós pastejo (Tabela 2, cap. 2). Nestas condições a planta prioriza o reestabelecimento da área foliar, através da produção de novas folhas, em detrimento ao crescimento de raízes (LEMAIRE, 1997). Desta forma, esperava-se que os piquetes mantidos sob pastejo mais intenso e menor quantidade de material em decomposição no solo (serrapilheira) resultasse em menores taxas de produção e liberação de CO₂ no solo, efeito não observado neste estudo.

O estudo da atividade enzimática tem sido reportado como indicador efetivo da qualidade do solo, da decomposição da matéria orgânica e da disponibilidade de nutrientes decorrentes das práticas de manejo ou do ambiente (QUILCHANO; MARANÓN, 2002). A celulase atua na hidrólise da celulose presente no material em decomposição no solo (serrapilheira), e sua atividade evidencia uma ciclagem de carbono mais ou menos eficiente, devido à qualidade do material (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007). Os piquetes manejados sob o IAFr 2,4 apresentaram maior massa de folhas (Tabela 2, cap. 2), onde provavelmente havia material de melhor qualidade disponível à ação do microrganismos decompositores. Com isso, houve maior degradação de celulose (Tabela 6), liberando maior quantidade de celobiose e glicose para biomassa microbiana.

Marchiori Jr. e Melo, (1999), realizaram estudo avaliando as atividades de celulase e amilase em amostras de solo sob mata natural, pastagens (20 e 25 anos) e cultivo do algodoeiro em três profundidades de amostragem. Os autores encontraram nas pastagens de 25 anos durante o verão, teor de 3,80 µg de glicose g⁻¹ TFSE h⁻¹, valor muito próximo ao observado neste trabalho, de 3,61 µg glicose g⁻¹ TFSE h⁻¹ (Tabela 6), nas mesmas condições de avaliação e período do presente estudo.

Bandick e Dick., (1999), avaliaram a atividade de celulase, arilsulfatase e outras enzimas em amostras de solo de piquetes manejados em lotação rotacionada com a gramínea *Festuca* (*Festuca arundinacea*) e algumas forrageiras de inverno como amendoim forrageiro e trigo, nos Estados Unidos. Os autores obtiveram em amostras

úmidas de solo rizosférico de festuca adubados com 90 kg N ha^{-1} , teor de $93,5 \text{ } \mu\text{g}$ de glicose $\text{g}^{-1} \text{ TFSE h}^{-1}$. Provavelmente, a forrageira utilizada (festuca) e o tipo de solo utilizado (rizosférico) propiciaram melhores condições de atividade dos microrganismos, justificando o alto valor de atividade desta enzima. Os autores concluíram que a celulase é uma enzima importante para monitoramento da qualidade da matéria orgânica do solo por estar diretamente relacionada a decomposição de materiais celulolíticos, importantes no ciclo do C no sistema solo-planta-animal.

Em todas as enzimas avaliadas, houve efeito do período de coleta, definido pelas estações do ano, onde o verão apresentou maiores médias e o inverno, as menores (Tabela 2). Os maiores níveis enzimáticos durante o verão são explicados pela maior atividade microbiana do solo, pois nesse período as condições de umidade e temperatura são favoráveis a estes microrganismos, além da melhor qualidade do material sobre o solo para decomposição. Segundo Pennanen et al., (1999) e Gréggio e Nahas, (2007), o crescimento e atividade microbiana são sensíveis às características físicas e químicas do solo, à quantidade e qualidade da serrapilheira e à influência do clima, com efeitos diretos também na matéria orgânica do solo.

Bandick e Dick (1999) avaliando a atividade enzimática em solos de piquetes com a gramínea Festuca (*Festuca arundinacea*) sob pastejo rotacionado, obtiveram $13,8 \text{ } \mu\text{g PNF g}^{-1} \text{ TFSE h}^{-1}$ para arilsulfatase, em amostras de solo úmidas durante o verão. Estes valores corroboram com o observado neste estudo, onde no verão as médias foram de $15,06 \text{ } \mu\text{g PNF g}^{-1} \text{ TFSE h}^{-1}$. Segundo estes mesmos autores e Lisboa et al., (2012), a atividade de arilsulfatase pode ser usada como indicadora direta da presença de fungos no solo, por ser o único microrganismo presente na biomassa microbiana que possui ésteres de sulfato, os quais são substratos para atividade dessa enzima.

Silva et al. (2012), avaliando a atividade enzimática do solo de áreas agrícolas, florestais e pastagem no período úmido e seco, relataram comportamento semelhante ao observado neste estudo, com maior atividade de arilsulfatase durante o verão, porém, com resultados superiores para o período seco em pastagens, referentes ao inverno. Os autores obtiveram média de $69,3 \text{ } \mu\text{g PNF g}^{-1} \text{ TFSE h}^{-1}$, valor superior ao

observado neste trabalho, de $6,85 \mu\text{g PNF g}^{-1} \text{ TFSE h}^{-1}$, no inverno (Tabela 7). Essa diferença pode ser atribuída à profundidade de coleta, que foi de 0-5 cm no trabalho citado, e no presente estudo foi de 0-20cm. Na camada de 0-5 cm, a atividade microbiana é superior devido a deposição de material que entrará em decomposição, justificando a maior atividade enzimática.

Em sistemas de pastagens, geralmente o aporte em nutrientes é deficiente devido aos baixos níveis de fertilização das áreas. Nestes casos, as necessidades de enxofre são provenientes da reciclagem da MOS, por meio de transformações microbianas ou químicas, resultando em sulfato disponível para absorção pelas plantas (PINTO; NAHAS, 2002). Nogueira e Melo (2003) relataram a ligação entre o decréscimo na atividade de arilsulfatase e a diminuição no teor de MOS. Os autores atribuíram a redução na atividade desta enzima ao fato da MOS constituir a principal reserva de ésteres de sulfato, que é substrato para arilsulfatase, o que denota a diminuição da presença de fungos no solo.

Assim como as demais enzimas avaliadas neste estudo, a desidrogenase apresentou maior atividade no verão e menor durante o inverno (Tabela 8). Vasconcellos et al., (2013), em estudo avaliando indicadores microbiológicos na qualidade de solos de matas reflorestadas, relataram valores de atividade de desidrogenase em $6,02 \mu\text{g TPF g}^{-1} \text{ TFSE h}^{-1}$ durante o verão. Este valor é relativamente próximo ao observado neste trabalho, de $2,27 \mu\text{g TPF g}^{-1} \text{ TFSE h}^{-1}$ no mesmo período do ano. Os autores atribuem a maior atividade de desidrogenase durante o verão à textura do solo, umidade e microporosidade.

Quilchano e Maranón (2002) observaram maior atividade desta enzima durante o outono, quando o solo estava com alta porcentagem de umidade. Os autores afirmaram que a atividade de desidrogenase está relacionada com o aumento da umidade e temperatura do solo, que por sua vez, regula a atividade de microrganismos. A ação desta enzima reflete a ação microbiana no solo, uma vez que ela ocorre intracelularmente, denotando a atividade e abundância dos microrganismos vivos no solo (MASCIANDARO et al., 2000).

Além da relação da umidade do solo e a atividade de desidrogenase, pesquisas comprovam a relação entre esta enzima e o teor de C no solo. Shang et al. (2012) em estudo conduzido na China avaliando os efeitos de adubação balanceada e deficiente em macrominerais, relataram que o uso de fertilizantes químicos e esterco bovino tratado elevaram os níveis de desidrogenase em virtude do aumento do C orgânico no solo a longo prazo. Segundo os autores, os valores saltaram de 2,2 para 9,8 $\mu\text{g TPF g}^{-1} \text{TFSE h}^{-1}$, respectivamente para tratamento sem adubação e com adubação (NPK) mais esterco bovino tratado. No presente estudo não houve efeito dos tratamentos ($P > 0,05$) nos níveis de C no solo (Tabela 5, cap. 2) pela maior entrada de nutrientes em decomposição. Porém, pode-se inferir que com o aumento do C orgânico advindos do material em decomposição (serrapilheira) ou adubação, haverá maior atividade microbiana devido à maior disponibilidade de nutrientes, elevando-se a MOS. Sendo assim, a avaliação da atividade de desidrogenase no solo é importante também para o monitoramento dos níveis de MOS através da dinâmica do C orgânico.

5. CONCLUSÃO

Os IAFr não tiveram influência nas emissões de CO_2 e na atividade enzimática do solo. As variações climáticas ocorridas devido as mudanças de estações do ano influenciaram a atividade metabólica dos microrganismos edáficos, o que se refletiu nos parâmetros avaliados. Houve uma relação direta entre o aumento da atividade microbiana e os níveis enzimáticos do solo, dada a maior decomposição enzimática de materiais orgânicos pelos microrganismos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, v. 23, n. 3, p. 66-75, 2007.

BANDICK, A. K; DICK, R. Field management effects on soil enzyme activities. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 31, p. 1471-1479, 1999.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. de A.; SILVA, L. S. da; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. de O. (Ed.). Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. 2.ed. **Rev. atual**. Porto Alegre: Metrópole, p.7-18, 2008.

BICALHO, E. S.; PANOSSO, A. R.; TEIXEIRA, D. D. B.; MIRANDA, J. G. V.; PEREIRA, G. T.; LA SCALA, N. Spatial variability structure of soil CO₂ emission and soil attributes in a sugarcane área. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 189, p. 206-215, 2014.

BRITO, L. F.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G.T.; SOUZA, Z. M.; LA SCALA JÚNIOR, N. Soil CO₂ emission of sugarcane fields as affected by topography. **Scientia Agrícola**, v.66, n.1, p.77-83, 2009.

BODDEY, R. M.; JANTALIA, C. P.; CONCEIÇÃO, P. C.; ZANATTA, J. A.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; SANTOS, H. P; DENARDIN, J. E.; AITA, C.; GIACOMINI, S. J.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S. Carbon accumulation at depth in Ferralsols under zero-till subtropical agriculture. **Global Change Biology**, v.16, p.784-795, 2010.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Seminário Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Brasília: EMBRAPA, 2a ed. 306p., 2006.

GALZERANO, L.; MALHEIROS, E. B.; RAPOSO, E.; MORGADO, E. S.; RUGGIERI, A. C.. Acúmulo e desaparecimento de forragem e variações na estrutura de pastos de capim-xaraés submetidos a intensidades de pastejo em lotação intermitente. **Semina. Ciências Agrárias**, v. 34, p. 2485-2496, 2013.

GALZERANO, L.; MALHEIROS, E. B.; MORGADO, E. S.; RUGGIERI, A. C. Emissão de CO₂, características do dossel e acúmulo de forragem em pastos de capim-pensacola sob frequências de desfolhação. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v.15, n.2, p. 138-144, 2014.

GRÉGGIO, T. C.; NAHAS, E. Atividade enzimática do solo sob dois fragmentos florestais. **Científica, Jaboticabal**, v. 35, n.2, p. 179-187, 2007.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate change 2001: the scientific basis**. United Kingdom: Cambridge University, 881p., 2001.

LIEBIG, M. A.; KRONBERG, S.L.; HENDRICKSON, J.R.; DONG, X.; GROSS, J.R. Carbon dioxide efflux from long-term grazing management systems in a semiarid region. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.164 p. 137– 144, 2013.

LISBOA, B. B.; VARGAS, L. K.; SILVEIRA, A. O. MARTINS, A. F.; SELBACH, P. A. Indicadores microbianos de qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 45-55, 2012.

LITTELL, R. C.; MILLIKEN, G. A.; STROUP, W. W.; WOLFINGER, R. D.; SCHABENBERGER, O. **Sas for Mixed Models**. 2 ed. SAS Institute Inc. 2006. 813p.

LUO, L.; ZHOU, X. **Soil respiration and the environment**. London: Elsevier, 316 p. 2006.

MARCHIORI JÚNIOR, M.; MELO, W. J. Carbono da biomassa microbiana e atividade enzimática em um solo sob mata natural, pastagem e cultura do algodoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. V. 23, p. 257-263, 1999.

MASCIANDARO, G.; CECCANTI, B.; RONCHI, V.; BAUER, C. Kinetic parameters of dehydrogenase in the assessment of the response of soil to vermicompost and inorganic fertilizers. **Biology and Fertility of Soils**. v. 32, p. 479-483, 2000.

MELO, W. J.; MELO, G. M. P., ARAÚJO, A. F.; MELO, V. P. Avaliação da atividade enzimática em amostras de solo. In: FIGUEIREDO et al. (Eds) **Biotechnologia aplicada à agricultura**. Brasília, EMBRAPA, Informação tecnológica, Recife, Instituto Agrônômico de Pernambuco, p. 158-187, 2010.

NOGUEIRA, M. A.; MELO, W. J. Enxofre disponível para a soja e atividade de arilsulfatase em solo tratado com gesso agrícola. **Pesq. Agropec. Bras.**, 27:655-663, 2003.

PANCHOLY, S. K., RICE, E. C. Soil enzymes in relation to old field succession ; amylase, cellulase, invertase, dehydrogenase and urease. **Soil Science Society of America Journal**, v. 37, p. 47-50, 1973.

PANOSSO, A. R., PEREIRA, G. T.; MARQUES JÚNIOR, J.; LA SCALA JÚNIOR, N.. Variabilidade espacial da emissão de CO₂ em latossolos sob cultivo de cana-de-açúcar em diferentes sistemas de manejo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.28, n.2, p.227-236, 2008.

PENNANEN, T.; LISKI, J.; BÁÁTH, E.; KITUNEN, V.; UOTILA, J.; WESTMAN, C. J.; FRITZE, H. Structure of the microbial communities in coniferous forest soils in relation to site fertility and stand development stage. **Microbial Ecology**, New York, v.38, n.2, p.168-179, 1999.

PINTO, C. R. O.; NAHAS, E. Atividade e população microbiana envolvida nas transformações do enxofre em solos com diferentes vegetações. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.12, p. 1751-1756, 2002.

QUILCHANO, C.; MARANÓN, T. Dehydrogenase activity in Mediterranean forest soils,. **Biology and Fertility of Soils**. Berlin, v.35, n. 2, p. 102-107, 2002.

SAS Institute. 2008. SAS/STAT 9.2 **User's Guide**. SAS Institute Inc, Cary, NC.

SHANG, Z. C.; ZHANG, L. L.; WU, P. GONG, P.; LI, D. P.; ZHU, P.; GAO, H. J. The activity and kinetic parameters of oxidoreductases in phaeozem in response to long-term fertiliser management. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v.12, p. 605-615, 2012.

SILVA JR., R. S.; MOURA, M. A. L.; MEIXNER, F. X.; KORMANN, R. et al. Estudo da concentração do CO₂ atmosférico em área de pastagem na região amazônica. **Revista Brasileira de Geofísica**. v. 22, p. 259-270, 2004.

SILVA, C. F.; PEREIRA, M. G.; MIGUEL, D. L. et al. Carbono orgânico total, biomassa microbiana e atividade enzimática do solo de áreas agrícolas, florestais e pastagem no médio vale do Paraíba do Sul (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.1680-1689, 2012.

SILVA, W. L. ; GALZERANO, L. ; REIS, R. A. ; RUGGIERI, A.C. Structural characteristics and forage mass of Tifton 85 pastures managed under three post-grazing residual leaf areas. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v. 42, p. 238-245, 2013.

TABATABAI, M.A.; BREMNER, J.M. Arylsulphatase activity of soils. **Soil Science Society Amer. Proc.**, v. 34, n.2, p. 225-229, 1970.

THALMANN, A. Zur methodic der bestimmung der dehydrogenase aktivität triphenyltetrazolium chlorid (TTC) im bodem mittels. **Landwirtsch. Forsch**, v.21, p.249-258, 1968.

VARELLA, R. F.; BUSTAMANTE, M. M. C.; PINTO, A. S.; et al. Soil fluxes of CO₂, CO, NO, and N₂O from an old pasture and from native savanna in Brazil. **Ecological Applications**, v. 14, 2004.

VASCONCELLOS, R. L. F.; BONFIM, J. A.; ANDREOTE, F. D. MENDES, L. W; BARETTA, D.; CARDOSO, E. J. B. N. Microbiological indicators of soil quality in a riparian forest recovery gradiente. **Ecological Engineering**, v. 53, p. 313-320, 2013.