

IGOR VILELA CRUZ

**BALANÇO DE CARBONO E NITROGÊNIO E EMISSÃO DE GASES DE EFEITO
ESTUFA EM SISTEMA INTEGRADO DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA COM
OVINOS**

Botucatu

2017

IGOR VILELA CRUZ

BALANÇO DE CARBONO E NITROGÊNIO E EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA EM SISTEMA INTEGRADO DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA COM OVINOS

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrônômicas da Unesp Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre Agronomia (Agricultura).

Orientador: Prof. Dr. Juliano C. Calonego

Botucatu

2017

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

C956b Cruz, Igor Vilela, 1988-
Balanço de carbono e nitrogênio e emissão de gases de efeito estufa em sistema integrado de produção agropecuária com ovinos / Igor Vilela Cruz. - Botucatu : [s.n.] , 2017
73 p. : il., color. , grafs., tabs.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2017
Orientador: Juliano Carlos Calonego
Inclui bibliografia
1. Nitrogênio na agricultura. 2. Carbono. 3. Gases estufa. 4. Plantio direto. 5. Rotação de cultivos. I. Calonego, Juliano Carlos. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônomicas. III. Título.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Botucatu



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "BALANÇO DE CARBONO E NITROGÊNIO E EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA EM SISTEMA INTEGRADO DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA COM OVINOS"

AUTOR: IGOR VILELA CRUZ

ORIENTADOR: JULIANO CARLOS CALONEGO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA (AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. JULIANO CARLOS CALONEGO
Centro de Ciências Agrárias / UNIVERSIDADE DO OESTE PAULISTA


Pós-Doutorando CRISTIANO MAGALHÃES PARIZ
Departamento de Melhoramento e Nutrição Animal / Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia de Botucatu


Prof. Dr. CARLOS ALEXANDRE COSTA CRUSCIOL
Dep de Produção e Melhoramento Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu

Botucatu, 25 de fevereiro de 2016.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter saúde e disposição para realizar esse trabalho.

Aos meus pais Paulo e Lilia por todo o incentivo.

A minha Vó Josefina e Tia Sonia, por todo o incentivo.

Ao meu irmão Caio e minha cunhada Fernanda pela amizade e companheirismo.

Ao meu irmão Paulo que mesmo distante, sempre se manteve preocupado e incentivador.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pela concessão da bolsa de estudos e pelo financiamento desse trabalho. Processo 458225/2014-2 (Auxílio à Pesquisa - Universal)

A Fundação Agrisus pelo financiamento desse trabalho. Processo 1378/14.

Ao Professor Dr. Juliano Carlos Calonego, por ter me dado a oportunidade de realização do mestrado, pelos ensinamentos, pelos conselhos, pela amizade e companheirismo. E pelo exemplo de educação e trato com as pessoas.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo financiamento desse trabalho (Processo 2013/23853-9).

Ao técnico Dorival, pela amizade e ajuda nas análises laboratoriais.

A Tiara Guimarães e Michely Alves pela ajuda, amizade e companheirismo.

Ao professor Dr. Ciniro Costa, Pós Doutorando Cristiano Pariz e Prof. Dr Carlos Alexandre Costa Crusciol, por disponibilizarem o experimento e por toda a confiança.

Ao Marco André Grohskopf por toda ajuda no experimento e pela amizade.

Ao Doutorando João Paulo Gonsiorkiewicz, por toda sua boa vontade em ensinar e pela ajuda com os cálculos e laboratório.

Ao Rodrigo Sereia pela amizade e ajuda.

A todos que contribuíram para a realização desse trabalho em especial as estagiarias, Ana Paula e Mariana Prosdocine, obrigado por toda ajuda.

Aos amigos que fiz em Botucatu e a todas as pessoas que contribuíram para realização desse trabalho.

RESUMO

Como opção para produção de silagem, o consórcio do milho com o capim-marandu e o feijão-guandu pode aumentar a quantidade de silagem produzida, sendo essa de melhor qualidade. O consórcio entre gramíneas e leguminosas pode ser uma estratégia interessante para aumentar os estoques de C e N e a quantidade forragem pelas pastagens cultivadas em sucessão, que resultarão em palhada para cobertura do solo no Sistema Plantio Direto (SPD). Em sucessão aos consórcios de verão, a aveia se torna uma opção importante, principalmente pela possibilidade de sobressemeadura, o que torna viável o seu cultivo por produtores que não tem acesso à semeadoras específicas para sementes miúdas. Objetivou-se com esse trabalho avaliar a produção de fitomassa aérea das espécies cultivadas, em função da presença ou não do feijão-guandu em consórcio com milho e capim marandú no verão para produção de silagem, e também em função das modalidades de semeadura da aveia-preta no outono-inverno para produção de pasto e palha, em SPD, com integração Lavoura-Pecuária (iLP), visando a terminação de cordeiros em semi-confinamento. Além disso, verificar se as emissões de gases de efeito estufa (GEE) por esses cultivos são compensados por aumentos no aporte de C no solo. A presente pesquisa foi realizada, na Fazenda Experimental Lageado, pertencente à Faculdade de Ciências Agrônômicas – UNESP, localizada no município de Botucatu (SP), e foi conduzido nos anos agrícolas 2013/2014 e 2014/2015. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em parcela subdividida, com dois fatores (A e B) e 4 repetições. O fator A está alocado na parcela principal e constituído de dois tratamentos de verão, ou seja, duas modalidades de cultivo da cultura do milho para ensilagem, uma em consórcio com capim-marandu (*Brachiaria brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) Stapf cv. Marandu [syn. *Urochloa brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) R. D. Webster cv. Marandu] e a outra em consórcio com capim-marandu e feijão-guandu cv. BRS Mandarin. O fator B é alocado na subparcela e constituído de dois tratamentos de inverno, ou seja, duas modalidades de semeadura de aveia preta (*Avena bysantina*), uma a lanço (manual) e a outra em linha. Foi avaliado a qualidade e quantidade de silagem produzida, os teores de C e N no solo, o aporte sobre o solo de matéria seca, C e N pelos resíduos vegetais e os fluxos de gases de efeito estufa (CO₂, N₂O e CH₄ provenientes do solo). Para comparação entre os tratamentos foi

realizada análise de variância e as médias foram comparadas estatisticamente pelo teste t, no nível de 5 % de probabilidade de erro.

As emissões de GEE foram maiores em outubro de 2014 logo após o pastejo, sendo o solo fonte de CH₄. O cultivo do feijão-guandu resultou em maior aporte de resíduos vegetais sobre o solo, sendo esses resíduos com menor relação C/N.

Palavras-chave: Gases de efeito estufa, plantio direto, integração lavoura pecuária

ABSTRACT

Optionally for silage production, the intercrop of corn with the marandugrass and pigeon pea can increase the amount of produced silage, and this best quality. The consortium of grasses and legumes can be an interesting strategy to increase the stocks of C and N and the amount forage for pastures grown in succession, which will result in straw for mulching in no-tillage system. In succession to summer intercrop, oats becomes an important option, especially the possibility of overseeded, making it possible its cultivation by farmers who do not have access to specific seeders for small seeds. The objective of this study was to evaluate the air biomass production of cultivated species, depending on the presence or absence of pigeon pea intercropped with corn and pasture in the summer for silage, and also depending on the seeding arrangements for aveia- yellow in autumn-winter pasture production and straw in SPD with Crop-Livestock integration, aimed at terminating lambs in semi-confinement. Also, check if emissions of greenhouse gases (GHG) by these crops are offset by increases in the C input to soil. This survey was conducted in the Experimental Farm Lageado, belonging to the Faculty of Agricultural Sciences - UNESP, located in Botucatu (SP), and was conducted in the agricultural year 2014/2015. The experimental design is a randomized block in a split plot with two factors (A and B) and 4 repetitions, Factor A is allocated in the main plot and consists of two summer treatments, ie two crop cultivation modes corn for silage, one in consortium with marandugrass and the other in consortium with marandugrass and pigeon pea cv. BRS Mandarin. Factor B is allocated in the sub-plot and comprises two winter treatments, ie two types of hp yellow oat sowing. Sao Carlos (*Avena bysantina*) a broadcasted (manually) and the other in line. It was the quality and quantity of produced silage rated. The gas samples for determination of CO₂ flows, N₂O and CH₄ from the soil were carried out after grazing oats, and during regrowth of braquiaria in 2014, during the grazing in 2014 was isolated an area within the plot, and shortly after the end of the grazing cycle were installed two chambers, 1 in the area that was not grazed. The second round of collection was after planting oats in 2015. Overall GHG emissions were higher in October 2014 soon after grazing, and the ground source of CH₄, the desetos animals and quality and quantity of straw in influenciad emissions. The treatments with a light harrowing for merger of oats, obtained the highest values of lower values of PPA. It was analyzed the

stock of C and N in the 0-40 cm depth in the soil and plants and straw, to determine the balance of Generally the treatment with the legume submitted a C / N ratio smaller but with a greater contribution to the treatment plant without the legume. This sense labor objective was to evaluate the Greenhouse Gas Emissions Greenhouse in function of the use of different Systems Integration Crop Farming and as emissions of fluorinated gases can be compensated hair increase of C stocks in soil and straw with these practice managements .

Keywords: greenhouse gas emissions, no-tillage, crop integrate

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	17
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	21
2.1 Emissão de Gases de Efeito Estufa na Agropecuária	21
2.2 Sistema de Integração Lavoura Pecuária.....	22
2.3 Potencial de sequestro de carbono (C) em solos manejados em sistemas de ILP	24
3. MATERIAL E METODOS.....	26
3.1 Localização e Caracterização da área experimental.....	26
3.2 Tratamentos e delineamento experimental.....	26
3.3 Histórico e Condução do experimento.....	26
3.4 Amostragens de plantas forrageiras e de palha para determinação da matéria seca e estoques de C e N na fitomassa.	28
3.5 Coleta de Solo.....	28
3.6 Determinação do carbono e nitrogênio da biomassa microbiana	29
3.7 Coleta de Gases do efeito estufa.....	32
3.8 Temperatura e Umidade do solo.....	35
3.9 Porosidade do solo preenchida pela Água (PPA)	37
4. ESTUDO ESTATÍSTICO	38
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
5.1 Componentes de produção	38
5.2 Massa de matéria seca das plantas forrageiras e da palha sobre o solo	41
5.3 Estoques de C e N na fitomassa das plantas forrageiras e na palha sobre o solo.....	42
5.4 Nitrogênio e Carbono no Solo	46
5.5 Carbono da Biomassa Microbiana	48
5.6 Emissão de Gases do Efeito Estufa	50
5.6.1 Coletas de 2014	50
5.6.2 Coletas de 2015	58
6. CONCLUSÃO.....	65

7.REFERENCIAS.....	66
DOBBIE, K. & SMITH, K. Comparison of CH ₄ oxidation rates in woodland, arable and set aside soils. Soil Biology and Biochemistry. Volume 28, Issues 10–11, October–November 1996, Pages 1357–1365.	69

1.INTRODUÇÃO

O setor agrícola, em escala mundial, contribui com 22, 80 e 55% das emissões de CO₂, N₂O e CH₄, respectivamente, enquanto que no Brasil em função da vocação agrícola, a participação deste setor compreende em 75, 91 e 94% das emissões de CO₂, N₂O e CH₄, respectivamente (CERRI & CERRI, 2007).

No Brasil, a agropecuária contribui com cerca de 22% das emissões antrópicas de gases de efeito estufa (GEEs), entretanto, se forem somadas as emissões provenientes do setor “mudança no uso da terra e florestas”, esse percentual sobe para cerca de 80% (Brasil, 2009). Nesse sentido, o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) tem destacado a importância de se conhecerem os fatores de emissão para elaborar inventários de emissões de gases de efeito estufa (GEE) e possíveis soluções, além de chamar a atenção para as emissões associadas diretamente ao solo (Ogle et al.,2005).Entretanto, grande parte do C está estocado no solo, o que equivale a mais do que o dobro do total do C estocado na vegetação e na atmosfera (Anderson Teixeira et al.,2009).

Nesse contexto o Brasil lançou em 2009 o Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura, também denominado de Plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono), assumindo internacionalmente compromissos voluntários de redução da emissão de gases de efeito estufa entre 36,1% e 38,9% até 2020.

Com isso práticas como o sistema de Integração Lavoura Pecuária (ILP) vem sendo utilizadas, dentre outras razões, como uma estratégia mitigadora de emissão de GEE, quando comparados a outros sistemas de produção, apresentarem maior capacidade em reter o C-CO₂ atmosférico no solo (Carvalho et al., 2010). ILP proporciona o uso eficiente da terra, favorecendo a diversificação da produção, contribuindo assim com a sustentabilidade do Sistema de Semeadura Direta (SSD), através da adição de material vegetal, na superfície do solo em quantidades e qualidade suficientes para garantir a ascensão do sistema de produção agropecuário. A utilização de gramíneas e leguminosas em consorciação para a produção de silagem no sistema ILP pode ser uma estratégia interessante para melhorar a qualidade da cobertura do solo e da silagem, visando maximizar concomitantemente o desempenho zootécnico dos animais.

A utilização de forrageiras leguminosas em consórcio com o milho também tem apresentado resultados produtivos positivos (OLIVEIRA et al., 2011). O objetivo é aumentar o aporte de nitrogênio (N) no solo, via fixação biológica do N atmosférico, visto que sistemas de ILP ainda são limitados pela carência de N, com alta dependência do uso de adubo nitrogenado para o sucesso da produção (ROSOLEM et al., 2011). Quando no consórcio também se cultiva capim-marandu, o feijão-guandu ainda apresenta a vantagem de melhoria na qualidade das pastagens, com aumento do teor de proteína bruta (PB) na dieta dos animais, justamente no período seco do ano. Resultados de melhoria da composição bromatológica de pastagens de capim-piatã em consórcio com tal leguminosa também foram relatados por Silva et al. (2010).

Nos sistemas integrados de cultivo, o efeito sinérgico entre os componentes do sistema solo-planta-animal apresentam potencial para aumentar estoques de C no solo, reduzir as emissões de GEE para a atmosfera conferindo sustentabilidade ao sistema. Entretanto, a nível nacional existem poucas pesquisas para avaliar a dinâmica de todos os componentes envolvidos nas emissões de GEE dentro do Sistema de Integração Lavoura Pecuária.

Em pesquisa desenvolvida no Cerrado brasileiro, Carvalho et al. (2010) encontraram grandes incrementos nos estoques de C do solo em sistemas de ILP sob plantio direto, quando comparados aos de áreas com apenas plantio direto. Tal potencial de sequestro de carbono pelo solo sob ILP decorre principalmente do aumento da matéria orgânica e da melhoria da qualidade física do solo, advindas da introdução da pastagem pela produção de biomassa aérea e radicular tornando o balanço final do sistema de uso e manejo favorável à mitigação dos GEE.

Pesquisas recentes tem demonstrado o potencial da ILP como dreno de CO₂ atmosférico. No sul do Brasil, o potencial de acúmulo de C no solo em áreas de ILP é definido, além do método de preparo e do tipo do solo, principalmente pela intensidade de pastejo durante o inverno e o aporte final de C pelas pastagens de inverno e de maneira complementar pelo aporte de C proporcionado pela cultura de grãos utilizada no verão (Nicoloso et al., 2008).

A ILP, de modo geral, mostra-se como alternativa para reverter a degradação de pastagens, melhorando a qualidade do solo e o seu teor de matéria orgânica, o que quase sempre resulta em aumento de produtividade, potencialmente melhorando o desempenho bioeconômico do sistema. Paralelamente, busca-se criar oportunidades para reduzir o risco do negócio na propriedade rural pela diversificação

de atividades. Como externalidades ambientais positivas decorrentes da adoção da iLP citam-se: a possibilidade de redução do avanço da fronteira agrícola (efeito poupa-terra); a mitigação das emissões de carbono (aumento no teor de matéria orgânica do solo) uma maior eficiência no uso de insumos (agroquímicos e fertilizantes); redução de perdas de água e de solo e uma redução na emissão de metano pelos animais em pastejo, em razão dos ganhos em termos de quantidade e de qualidade de forragem em comparação à pecuária tradicional (VILELA et al., 2011). Apesar disso, na região subtropical brasileira, é possível oferta abundante de forragem aos animais de rebanho nos meses de inverno quando as temperaturas inibem o crescimento de pastagens tropicais, por meio da formação de pastagens hibernais de aveia (*Avena sp*) e azevém (*Lolium multiflorum*) em áreas de cultivos agrícolas de verão, que de outra forma ficam sem rendimento durante o inverno. Essa estratégia proporciona a terminação e, ou, recria de bovinos (Silva et al., 2011; Rocha et al.; 2011) durante a entressafra, o que corrobora para melhoria de índices zootécnicos da pecuária nas condições subtropicais (Moraes et al.,2007). Ainda, segundo esses autores, quando o pastejo é corretamente conduzido, não compromete a formação de palha para o método de semeadura direta das lavouras de verão.

Enfim, com baixo impacto ambiental, tem-se a chance de reduzir muito o potencial de aquecimento global. Portanto, com a intensificação da produção agropecuária, apenas com o cuidado de fazer de forma mais eficiente do que tem sido feita hoje. O uso de sistemas integrados de produção, seja na ILP, em sistemas silvipastoris ou na integração lavoura pecuária floresta (iLPGF), pode aumentar enormemente a eficiência na produção de carne brasileira e grãos, com menor emissão de GEEs por unidade de produto.

Verifica-se diante do exposto que os sistemas de ILP apresentam particularidades importantes em comparação ao sistema de lavoura contínua, o que pode afetar a emissão ou mitigação de GEE, pois a interação entre os componentes animal, as pastagens e as culturas anuais afetam conjuntamente características químicas, físicas e biológicas do solo e do animal. Aliado a isso, pode alterar a dinâmica do C e N no solo. Desta forma, o entendimento do comportamento de sistemas de ILP quanto à emissão de GEE específicas de solo e clima, é de suma importância no conhecimento do potencial de mitigação desses gases.

Além de tudo isso, a sobressemeadura da aveia a lanço, utilizando-se maior densidade de sementes, após a colheita do milho para ensilagem, pode apresentar

resultados interessantes para adoção da técnica de sobressemeadura por pequenos produtores, que geralmente não possuem semeadoras-adubadoras específicas para culturas cujas sementes são miúdas, como é o caso da aveia.

Portanto, objetiva-se com esse trabalho avaliar a produção de fitomassa aérea das espécies cultivadas, em função da presença ou não do feijão-guandu em consórcio com milho e braquiária no verão para produção de silagem, e também em função das modalidades de semeadura da aveia-preta no outono-inverno para produção de pasto e palha, em SPD, com integração Lavoura-Pecuária (iLP), visando a terminação de cordeiros em semi-confinamento. Além disso, verificar se as emissões de gases de efeito estufa (GEE) por esses cultivos são compensados por aumentos no aporte de C no solo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Emissão de Gases de Efeito Estufa na Agropecuária

Ao mesmo tempo em que se constitui em uma atividade potencialmente influenciável pela mudança do clima, a agricultura também contribui para o efeito estufa com emissões de gases como o metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), óxido nitroso (N_2O) e óxidos de nitrogênio (NO_2). Estima-se que 20% do incremento anual do forçamento radiativa global é atribuído ao setor agrícola considerando-se o efeito dos gases metano, óxido nitroso e gás carbônico (IPCC, 1996). O metano e o óxido nitroso são os principais gases emitidos pelo setor agropecuário, contribuindo com 15% e 6%, respectivamente, para o forçamento radiativo global (COTTON; PIELKE, 1995).

O CH_4 é emitido tanto por fontes naturais como antropogênicas, as fontes naturais incluem as zonas úmidas, os ruminantes selvagens, oceanos e lagos, cupins etc. As principais fontes antropogênicas são a queima de vegetação e combustíveis fósseis, mineração de carvão, petróleo e gás, produção de arroz alagado, rebanhos de ruminantes, aterro sanitário e o manejo de resíduos e dejetos (MOSIER et al, 1991). Os ruminantes produzem o CH_4 com a fermentação entérica e o eliminam por eructação, principalmente (CRUTZEN et al. 1986). A produção pelas fezes desses animais também é significativa no total de CH_4 emitido, porém representa uma pequena fração da produção entérica.

As fontes naturais de N_2O incluem os oceanos, o solo das florestas, savanas e campos, enquanto as fontes antropogênicas incluem os solos agrícolas, os dejetos de animais, fertilizantes nitrogenados, resíduos vegetais, a produção de nylon e de ácido nítrico, queima de resíduos e de combustíveis fósseis (FORSTER et al., 2007). As emissões antropogênicas de N_2O representam aproximadamente 40% do total (SOLOMON et al., 2007). De acordo como NEVISON & HOLANDA (1997), o aumento de emissões de NO por cultivos agrícolas é causado pelo aumento da disponibilidade de N no solo, principalmente pelo uso de fertilizantes.

Alguns estudos têm demonstrado que o aumento da concentração de CO_2 na atmosfera não é totalmente nocivo para algumas plantas cultivadas (Siqueira et al., 2011; Streck, 2002). Segundo esses estudos, o aumento da diferença de CO_2 entre a planta e a atmosfera adjacente também aumentaria a taxa fotossintética e a

produtividade de algumas plantas cultivadas. Streck (2005) compilou vários trabalhos que demonstraram que as plantas, de modo geral, aumentaram sua produção em 28 % em relação ao controle (concentrações atuais de CO₂ na atmosfera). Realizando uma estratificação do aumento na produção dessas plantas, os autores observaram incremento na ordem de 23, 32, 42, 52 e 54 % para frutíferas, cereais de ciclo fotossintético C3, folhosas, tubérculos e leguminosas, respectivamente.

Tudo indica que este é o setor onde é possível termos as maiores reduções de emissões, com custo relativamente baixo, a partir de aumento da governança, da adoção de boas práticas e intensificação da produção. Além disso, as reduções das emissões podem vir acompanhadas de outros benefícios ambientais e econômicos, sendo, portanto, a prioridade para o futuro.

2.2 Sistema de Integração Lavoura Pecuária

Apesar do setor agrícola ser um dos principais responsáveis pelo aumento na concentração dos GEE na atmosfera, principalmente pela vocação agrícola do Brasil, o manejo da agricultura destaca-se também pelo potencial em atuar como fator drenador dos gases, contribuindo para mitigação do forçamento radiativo da atmosfera (GOMES, 2006). Estima-se que cerca de 20 a 30% das emissões dos GEE possam ser compensados por meio do manejo agrícola (BAYER, 2007).

Segundo Cerri & Cerri (2007) tecnologias de produção agrícolas mais eficientes no sentido de mitigar os GEE devem ser adotadas, pois quando comparado aos setores industrial e energético, a agricultura é o setor que apresenta as ferramentas menos custosas para tal (IPCC, 2007).

Sistemas de integração lavoura-pecuária (ILP), que é definido como um sistema de alternância de cultivo de grãos e pastejo de animais em pastagens na mesma área agrícola (Moraes et al., 1998), o solo pode ser considerado como o compartimento centralizador dos processos, sendo fonte de indicadores da qualidade do sistema, pois traduz todas as mudanças ocorridas na sucessão de culturas no verão e a presença de animais em pastejo no inverno (Anghinoni et al., 2013).

O cultivo de milho safrinha consorciado com *Brachiaria ruziziensis* é uma alternativa para aumentar a produção de palha, tendo em vista que a braquiária produz massa durante e após a colheita do milho e, com isso, proporciona maior tempo de solo coberto (CECCON et al., 2011). Neste caso, a adição de matéria orgânica em

profundidade é maior e mais intensa, pois a ação de dois sistemas radiculares na mesma área influencia o solo de diferentes formas e em diferentes profundidades.

Os sistemas de ILP propõem a diversificação estratégica das atividades agricultura e pecuária no sentido de beneficiar ambos. Nas áreas de pecuária, a introdução da lavoura tem sido utilizada principalmente para reforma ou recuperação de pastagens degradadas ou com baixa produtividade. Nas áreas de agricultura sob sucessão de cultivos, os principais objetivos da implantação de sistemas de ILP são produção de forragem para os animais no período da entressafra (estação seca) e a formação de palha visando conferir sustentabilidade ao sistema de plantio direto (SPD). Nos biomas Amazônia e Cerrado a agricultura convencional, baseada principalmente na soja como cultura principal em SPD, apesar de apresentar inúmeros benefícios quando comparada aos sistemas de cultivo baseados em revolvimento do solo, não resultam em quantidade de palha suficiente para conferir sustentabilidade à produção agrícola.

A utilização de forrageiras leguminosas em consórcio com o milho também tem apresentado resultados produtivos positivos (OLIVEIRA et al., 2011). O objetivo é aumentar o aporte de nitrogênio (N) no solo, via fixação biológica do N atmosférico, visto que sistemas de ILP ainda são limitados pela carência de N, com alta dependência do uso de adubo nitrogenado para o sucesso da produção (ROSOLEM et al., 2011). Quando no consórcio também se cultiva capim-marandu, o feijão-guandu ainda apresenta a vantagem de melhoria na qualidade das pastagens, com aumento do teor de proteína bruta (PB) na dieta dos animais, justamente no período seco do ano. Resultados de melhoria da composição bromatológica de pastagens de capim-piatã em consórcio com tal leguminosa também foram relatados por Silva et al. (2010).

A fazenda Santa Brígida, localizada em Ipameri (GO) foi a primeira propriedade a obter linha de financiamento por meio do Programa Agricultura de Baixa Emissão de Carbono (ABC), em julho de 2011, esta fazenda é um dos principais exemplos na prática da integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) do país. Além dos ganhos de produtividade, a fazenda deixa de emitir, aproximadamente, 2,6 mil toneladas de gás carbônico equivalente por ano. Outros sistemas que reduzem a emissão de CO₂ na atmosfera também são utilizados, como a fixação de nitrogênio no solo. A prática utilizada para este fim é o Sistema Santa Brígida, criado pela Embrapa, um consórcio das culturas de milho, braquiária e feijão guandu anão. Além dos benefícios

ambientais, ainda há a vantagem da renovação constante do pasto, o que faz o rebanho engordar apenas com capim (EMBRAPA, 2014).

O balanceamento de dietas para animais suplementados com silagens de gramíneas normalmente é feito com concentrados proteicos, elevando o custo de produção nas propriedades. Pelo exposto, a utilização de leguminosas na forma de forragem também pode ser uma alternativa para elevar o teor de PB do volumoso na alimentação de animais (EVANGELISTA et al., 2003). Assim, a justificativa para o uso de leguminosa associada a uma gramínea para ensilar é principalmente essa elevação do teor de PB da silagem, que quando feita exclusivamente com gramínea, apresenta, em média, valores de 4,0 a 7,0%.

2.3 Potencial de sequestro de carbono (C) em solos manejados em sistemas de ILP

Durante a terceira conferência entre as partes COP-3 em Quioto (1997) foi definido que sequestro de C é a captura e estocagem de CO₂ da atmosfera com a finalidade de conter e reverter o aquecimento resultante do efeito estufa. Desde então, uma variedade de meios artificiais de captura e de sequestro do carbono, assim como processos naturais, estão sendo estudados e explorados. A conservação de estoques de carbono nos solos, florestas e outros tipos de vegetação, a preservação de florestas nativas, a implantação de florestas e sistema agroflorestais, a recuperação de áreas degradadas entre outros contribuem do ponto de vista biológico para a redução da concentração do CO₂ na atmosfera (BRITISH COUNCIL, 2012)

Resultados preliminares de Carvalho et al. (2009) na região do Cerrado em áreas de SPD indicam que a taxa de acúmulo de C com a adoção da ILP (em SPD) pode variar de 800 a 2.800 kg ha⁻¹ ano⁻¹. Carvalho et al. (2009) e Santos et al. (2004) destacam que nesse sistema, o manejo adequado do solo e da vegetação deve ter como premissa básica o mínimo revolvimento do solo, além de rotação de culturas utilizando plantas com alta produção de resíduos vegetais e, ainda, plantas capazes de acumular nutrientes no solo, como as leguminosas.

O balanço positivo de N é essencial para que ocorra o acúmulo de MO em solos agrícolas, evitando uma competição indesejada entre microrganismos e as plantas cultivadas, além de aumentar a produção de matéria seca e o aporte de C pelas culturas (BODDEY et al., 2010; CONCEIÇÃO et al., 2013). Assim, rotações de culturas que privilegiam um maior aporte de C demandarão maior fornecimento de N. Portanto,

o fornecimento de N via leguminosas pode aumentar a produção das culturas e permitir o aumento do teor de MOS em sistemas com aporte de palhada de elevada relação C/N.

Pastejo com intensidades moderadas podem acumular mais C e N que sistemas sem pastejo. Conte (2007) enfatiza que sistemas de ILP submetidos a altas intensidades de pastejo geram menores quantidades de material vegetal da parte aérea disponível para os animais e conseqüentemente menores quantidades de material vegetal será adicionado ao solo. Souza (2008) verificou em seus estudos na região do Planalto Médio do RS, que a intensidade de pastejo influencia a massa de raízes e é inversamente proporcional a altura do pasto, além disso, intensidades de pastejo moderadas (20 e 40 cm de altura do pasto) em sistemas de ILP promovem aumento nos estoques de C e N total no solo, semelhante ao plantio direto sem pastejo. Outros autores (Boeni, 2007; Souza, 2008) destacam que intensidades moderadas de pastejo sob sistema de ILP é considerado um dos sistemas de manejo mais eficientes em melhorar a estrutura do solo. Assim, nota-se que o manejo das pastagens ou adequação da carga animal são fatores decisivos para a adequada produtividade com sustentabilidade deste sistema.

A elevação dos níveis de MOS e a melhoria da qualidade física do solo com a introdução das pastagens em áreas agrícolas com níveis adequados de fertilidade indicam que a iLP tem potencial para reduzir o impacto ambiental das atividades produtivas, ao reduzir as emissões de GEE, com conseqüente aumento da estabilidade de produção das culturas anuais e melhora do aproveitamento da água e dos nutrientes (Franchini et al., 2010).

Salton (2005) e Salton et al. (2011), ao avaliarem as taxas de acúmulo de carbono em diferentes sistemas de uso e manejo do solo no Cerrado, observaram que os maiores estoques de carbono estão relacionados à presença de forrageiras, o que resulta na seguinte ordem decrescente de estoques de carbono no solo: pastagem permanente > iLP sob SPD > lavoura em SPD > lavoura em cultivo convencional. Os resultados obtidos por Carvalho et al. (2009), na região do Cerrado, são indicativos de que se pode aumentar muito a taxa de acúmulo de carbono com a conversão do SPD para a iLP sob SPD.

3. MATERIAL E METODOS

3.1 Localização e Caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental Lageado, pertencente à Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia (FMVZ/UNESP) no município de Botucatu/SP (22°51'01"S e 48°25'28"W, com altitude de 777 metros). De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS et al., 2006), o solo da área experimental é um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico com 280, 90 e 630 g kg⁻¹ de areia, silte e argila, respectivamente.

3.2 Tratamentos e delineamento experimental

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com 4 tratamentos e 4 repetições por tratamento. Onde os tratamentos foram, MBA_la = milho em consórcio com braquiária no verão e aveia semeada a lanço no inverno. MBA_li = milho em consórcio com braquiária no verão e aveia semeada em linha no inverno. MBGA_la = milho em consórcio com braquiária e guandu no verão e aveia semeada a lanço no inverno. MBGA_li = milho em consórcio com braquiária e guandu no verão e aveia semeada em linha no inverno.

Os animais foram soltos na área durante o dia (das 6:00 às 17:00 hs) e recolhidos durante a noite em galpão fechado, onde recebera suplementação com sal mineral e silagem do próprio tratamento de verão, configurando um esquema de semi-confinamento.

Cada parcela foi constituída por 18 m de largura e 25 m de comprimento (450 m²).

3.3 Histórico e Condução do experimento

Até o ano de 2005 a área foi utilizada para produção de silagem de milho e sorgo, sendo que até outubro/2010, se encontrava em pousio, com predominância de capim-braquiárinha {*Urochloa decumbens* (Stapf) R. D. Webster cv. Basilisk [syn. *Brachiaria decumbens* Stapf cv. Basilisk]}. Nos anos agrícolas de 2010/2011 e 2011/2012 a área foi utilizada para produção de silagem de milho em consórcio com

braquiárias na safra, com posterior sobressemeadura de aveia e pastejo por cordeiros entre os meses de agosto e novembro. No ano agrícola de 2012/2013 a área foi utilizada para produção de silagem de soja em consórcio com capim-aruanã. Em dezembro de 2013 o híbrido simples (HS) de milho 2B587 HX (precoce) foi semeado a uma profundidade de 0,03 m, utilizando semeadora-adubadora para SSD dotada de mecanismo para abertura de sulco do tipo haste sulcadora, com densidade de 70.000 sementes ha⁻¹.

No tratamento de milho + capim-marandu foi utilizado o espaçamento entrelinhas de 0,45 m. No tratamento de milho + capim-marandu + feijão-guandu foi utilizado o espaçamento entrelinhas de 0,90 m e o feijão-guandu foi semeado nas entrelinhas do milho, também na profundidade de 0,03 m, utilizando-se 10 sementes por metro (aproximadamente 25 kg de sementes ha⁻¹), conforme recomendação de Oliveira et al. (2011). No consórcio entre milho + capim-marandu o capim foi semeado na quantidade de 550 pontos de valor cultural (VC) ha⁻¹, conforme recomendação de Pariz et al. (2009), na linha do milho, por meio da mistura das sementes na caixa de adubo da semeadora-adubadora. No tratamento de milho + capim-marandu + feijão-guandu, o capim foi semeado nas linhas do milho e do feijão-guandu, também através das mistura das sementes com o fertilizante na caixa de adubo da semeadora.

A adubação mineral nos sulcos de semeadura, bem como a adubação mineral de cobertura seguiram as recomendações para cultura. A colheita mecânica para ensilagem foi realizada no dia 25 de abril de 2014 e o material colhido foi armazenado em silo tipo “bag” de 1,50 m de diâmetro, com compactação de 600 kg m⁻³ de massa verde, para posterior suplementação dos cordeiros.

A colheita mecânica para ensilagem foi realizada na safra 2013/2014, e continua sendo feita nas safras seguintes, com colhedora de forragem modelo JF C-120 (12 facas) com plataforma de duas linhas em espaçamento reduzido de 0,45 m entrelinhas, sendo o material picado em partículas médias de 1,5 cm. No tratamento de milho + capim-marandu são colhidas duas linhas por passada da colhedora, enquanto que no tratamento de milho + capim-marandu + feijão-guandu colhe-se uma linha de milho e outra de feijão-guandu por passada da colhedora.

No dia 12 de maio de 2014 a aveia foi semeada em faixa nas subparcelas, na modalidade em linha, por meio de semeadora-adubadora para SSD no espaçamento de 0,17 m, utilizando-se 55 kg ha⁻¹ de sementes puras viáveis (SPV); e na modalidade

a lanço, realizada manualmente, utilizando-se o dobro de SPV (Adami; Pitta, 2012) e incorporadas com gradagem superficial leve.

Os piquetes foram delimitados com cerca elétrica de seis fios e os animais tiveram livre acesso à água. Também foi disponibilizado sombrites para maior conforto térmico dos animais. Entre os meses de outubro e novembro, os capins e as demais plantas presentes na área foram dessecados com os herbicidas Glyphosate e 2,4-D amine nas doses de 1.440 e 670 g ha⁻¹ do equivalente ácido, respectivamente, para formação de palhada.

A semeadura da safra 2014/2015 foi realizada no dia 16/12/2014 seguindo os mesmos tratamentos e adubação e a colheita no dia 08/04/2015. A semeadura da aveia ocorreu no dia 22/04/2015 seguindo a recomendação para a safra anterior.

3.4 Amostragens de plantas forrageiras e de palha para determinação da matéria seca e estoques de C e N na fitomassa.

As coletas foram realizadas em julho de 2014 e de 2015 (por ocasião do florescimento da aveia) e em dezembro de 2015 (após a dessecação do pasto residual), por meio de um quadro de amostragem de dimensões 0,5 m x 0,5 m, sendo posteriormente acondicionadas em sacos de papel, e secas em estufa de aeração forçada a 60° C até massa constante. Em seguida, procedeu-se à mensuração da massa de matéria seca em balança com precisão de 0,01 g. Posteriormente, as amostras foram moídas em moinhos elétricos tipo “Willey”, peneiradas (malha de 1 mm), acondicionadas em sacos de papel e armazenadas em sacos plásticos devidamente vedados. As determinações dos teores de C e N foram realizadas em analisador elementar (LECO-TruSpec® CHNS), sendo obtidos a relação C/N da palha e, a partir da massa de palha, o acúmulo de N e C nos restos vegetais depositados sobre o solo.

3.5 Coleta de Solo

Para a determinação dos teores de C e N no solo, foram procedidas amostragens de solo por ocasião da amostragem de palha nos anos de 2014 e 2015. As amostras foram retiradas das camadas de 0-10 cm de profundidade, secas ao ar,

moídas e passadas em peneira com malha de 2 mm, e submetidas à análise dos teores de C orgânico total (COT) e N-total (NT) , por meio de analisador elementar automático (Modelo TruSpec™ CHNS, da LECO®). Com a determinação da densidade do solo e das concentrações de COT e NT foi possível calcular quantidade de C e N, em Mg ha⁻¹, em cada camada (Janzen, 2005). As quantidades de C e N em cada camada foram somadas para obtenção do estoque de C no perfil do solo (camada de 0-40 cm).

3.6 Determinação do carbono e nitrogênio da biomassa microbiana

Para determinação do carbono da biomassa microbiana do solo (C_{BMS}) e do nitrogênio da biomassa microbiana do solo (N_{BMS}) utilizou-se o método de irradiação-extração (ISLAM; WEIL, 1998; MEDONÇA; MATOS, 2005), no Laboratório de Relações Solo-Planta da FCA/UNESP, Botucatu, SP.

O método de irradiação-extração tem como princípio a irradiação das amostras de solo em forno de micro-ondas, fornecendo energia eletromagnética que, ao ser absorvida, provoca a rotação das moléculas de água e a migração condutiva de íons dissolvidos em um campo eletromagnético, para gerar calor quase instantaneamente por fricção molecular. A alta temperatura e a pressão de vapor afetam a permeabilidade e a estabilidade da membrana plasmática de células microbianas, provocando a sua ruptura e liberando vários metabólitos intracelulares (ISLAM; WEIL, 1998). Em seguida, as amostras são submetidas a uma extração rápida, com K₂SO₄ 0,5 mol L⁻¹, um extrator fraco, procedendo-se em sequência às determinações de C e N (BROOKES et al., 1985; VANCE et al., 1987).

O C_{BMS} é calculado pela diferença entre o teor de C da mostra irradiada (CI) e o teor de C da amostra não irradiada (CNI). Analogamente, a diferença entre o nitrogênio de amostras irradiadas e não irradiadas fornece o N_{BMS} . Os resultados destas subtrações são então multiplicados (ou divididos) por um fator de correção referente à eficiência do extrator para o método e o elemento quantificado.

Após o período de armazenamento, as amostras foram retiradas do congelador e mantidas a 25°C até o equilíbrio com a temperatura ambiente, por cerca de 2 horas. Após atingirem o equilíbrio com a temperatura ambiente, foram submetidas à padronização de umidade, acrescentando-se água com auxílio de uma pipeta: as amostras foram corrigidas para 65% da umidade na capacidade de campo (CC). Na

escolha deste valor foi considerada a umidade das amostras no momento de coleta, os valores de umidade recomendados pelos métodos de análise e a não necessidade de se secarem as amostras antes de umedecê-las novamente, para evitar variações bruscas na população microbiana. Após a padronização de umidade, as amostras foram deixadas em repouso por 24 horas em ambiente a 25°C em sacos plásticos vedados, para homogeneização da umidade e estabilização da atividade microbiana (GONÇALVES et al., 2002), iniciando-se a seguir os procedimentos de análise pelo método da irradiação-extração. As análises foram conduzidas em duplicatas.

Foram pesados o equivalente a 20 gramas de solo seco em copos de polipropileno de 150 mL resistentes à exposição a forno de micro-ondas. As amostras não irradiadas foram vedadas e permaneceram em repouso, enquanto as demais foram submetidas à irradiação. Utilizou-se um forno de micro-ondas Electrolux MEX 55®, em potência real de 623 W, calculada a partir da variação da temperatura de 1L de água após 2 minutos de irradiação. Procedeu-se a irradiação de duas amostras por vez, através do procedimento, recomendado por Islam e Weil (1998) para uniformizar a distribuição de energia e evitar superaquecimento do solo: 1) a amostra foi submetida à irradiação por metade do tempo de exposição determinado; 2) em seguida foi retirada do forno de micro-ondas, submetida a uma agitação manual leve para movimentar o solo no interior do copo de polipropileno e deixada em repouso até atingir temperatura ambiente; 3) e finalmente foi submetida à segunda metade do tempo de exposição à irradiação no forno de micro-ondas. Após cada seção de irradiação, a temperatura foi monitorada em algumas amostras com auxílio de um termômetro.

As amostras foram submetidas a um tempo de irradiação total de 120 segundos, de acordo com as recomendações de Islam e Weil (1998), adotando-se duas seções de 60 segundos, sempre respeitando a faixa de temperatura entre 80 e 88°C proposta pelos autores. Temperaturas inferiores podem levar a uma atividade biocida pouco eficiente, subestimando os teores de C e N, à medida que temperaturas superiores podem provocar o rompimento e a solubilização de moléculas humificadas de origem não microbiana.

Após a irradiação procederam-se, em ordem cronológica, a adição de 80 mL de solução de K_2SO_4 0,5 M sobre as amostras (irradiadas e não irradiadas), a agitação em agitador horizontal a 220 rpm por 30 minutos, o repouso por mais 30 minutos para permitir a sedimentação do solo no interior do copo e a filtragem dos extratos em papel

filtro quantitativo. Após a filtragem, foram pipetados 10 mL do filtrado para a determinação do C_{BMS} pelo método de oxidação de dicromato, descrito por Mendonça e Matos (2005). Para a determinação do N_{BMS} , também foram pipetados 10 mL do extrato, realizando-se em seguida a determinação do N_{BMS} pelo método de Kjeldahl descrito por Mendonça e Matos (2005).

O carbono do carbono da biomassa microbiana (C_{BMS}) foi calculado pela equação (1):

$$C_{(BMS)} = \frac{C_I - C_{NI}}{K_C} \quad (1)$$

Equação 1:

$C_{(BMS)}$ = carbono da biomassa microbiana do solo em mg kg^{-1} de solo ou ppm;

C_I = quantidade de C (mg kg^{-1}) recuperada na amostra irradiada;

C_{NI} = quantidade de C (mg kg^{-1}) recuperada na amostra não irradiada;

k_c = fator de correção que representa a eficiência do extrator em extrair o C da biomassa microbiana do solo (adimensional).

O fator de correção k_c utilizado foi de 0,33 recomendado por Sparling e West (1988) e adotado por Ferreira et al. (1999). O nitrogênio da biomassa microbiana (N_{BMS}) foi calculado pela equação 2:

$$N_{(BMS)} = \frac{N_I - N_{NI}}{K_N} \quad (2)$$

Equação 2:

$N_{(BMS)}$ = nitrogênio da biomassa microbiana do solo em mg kg^{-1} de solo ou ppm;

N_I = quantidade de N (mg kg^{-1}) recuperada na amostra irradiada;

N_{NI} = quantidade de N (mg kg^{-1}) recuperada na amostra não irradiada;

K_N = fator de correção que representa a eficiência do extrator em extrair o N da biomassa microbiana do solo (adimensional).

Para o nitrogênio, não há um valor de K_N desenvolvido para o método de irradiação-extração. Então foi utilizado o valor proposto por Brookes et al. (1985) para o método de fumigação-extração: 0,54.

3.7 Coleta de Gases do efeito estufa

Foi procedida a coleta das amostras de gases por meio da metodologia de Bowden et al. (1990). Com câmaras de coleta, as quais são compostas por duas partes, sendo uma base de aço galvanizado, constituída por uma circunferência de centro aberto, com dimensões de 0,30 m de diâmetro e 0,13 m de altura, tendo na borda uma calha externa em forma de “U”, a qual recebe água no momento da avaliação para vedação da câmara. A outra parte é composta por uma tampa plástica com 0,09 m de altura e 0,30 m de diâmetro, com um orifício no centro com 5 mm de diâmetro, onde foi colocado uma tampa de borracha, na qual inserida a seringa para a retirada das amostras de gases (Figura 1).

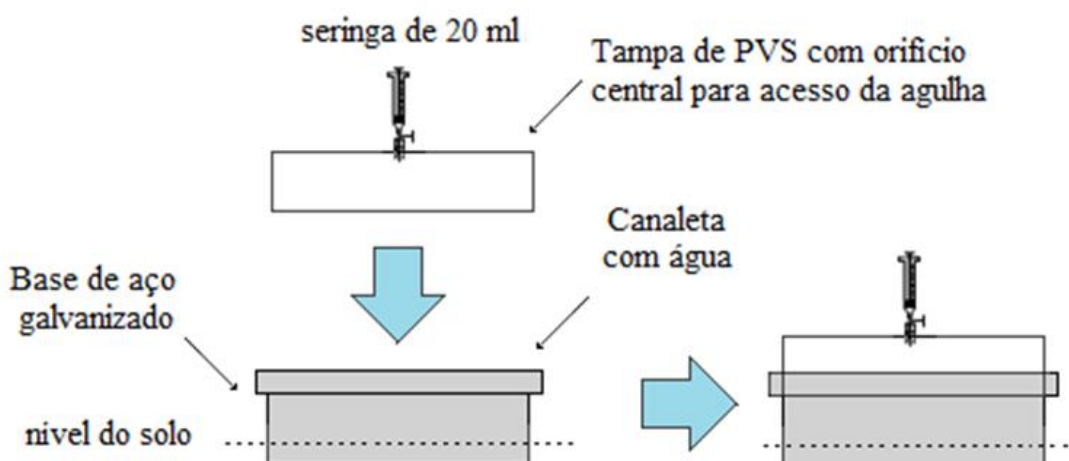


Figura 1. Esquema de montagem das câmaras estáticas para coleta das amostras de gases de efeito estufa

Os períodos de incubação das amostras após o fechamento das câmaras foram de 0, 10, 20 e 40 minutos. Para a coleta, o embolo da seringa de 20 ml foi acionado três vezes, a torneira de três vias foi fechada e a amostra encaminhada para o laboratório em caixas térmicas

Fez-se amostragem em três épocas em outubro de 2014 e a segunda em abril e junho de 2015. Em 2014, antes da entrada dos animais na área para pastejo, foi delimitada uma microparcela dentro de cada subparcela, configurando um ambiente protegido da ação dos animais. Essa microparcela foi delimitada por uma armação metálica (“gaiola”) com dimensões de 0,5 x 0,5 x 0,5 m (Figura 2 e 3). Ainda antes da entrada dos animais foram instaladas câmaras de coleta de gases no lado interno e

externo das gaiolas e procedeu-se as coletas com 1, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, e 27 dias após a retirada dos animais do pasto.



Figura 2 - Detalhe do isolamento durante o pastejo e das câmaras estáticas de coleta de gases do efeito estufa em 2014.



Figura 3 - Detalhe das câmaras estáticas de coleta de gases do efeito estufa no cultivo da aveia semeada a linha e a lanço em 2015.

As coletas de GEE no ano de 2015 iniciaram-se por ocasião da semeadura da aveia, sendo essas realizadas 1 dia antes da semeadura e com 1 dias após a semeadura. Nessa época de amostragem foi utilizada apenas uma câmara de coleta por subparcela, já que não havia necessidade de exclusão do efeito dos animais.

Em todas as 2 épocas de amostragem, as câmaras foram instaladas um dia antes do início das amostragens e mantidas na área até a última data de amostragem. As amostragens foram realizadas sempre entre as 8:00 e 9:00 horas da manhã. Foi monitorada a temperatura e precipitação durante os períodos de coleta de gases para relacionar possíveis efeito do clima nas emissões de GEE (Figuras 3 e 4).

A quantificação dos gases foram realizadas por meio de cromatógrafo gasoso Shimadzu® - GC 2014, modelo "Greenhouse", com fonte selada de Ni63. O princípio de detecção baseia-se no decaimento desse radionuclídeo, emissor puro de partículas β^- (beta negativo). O equipamento é provido de dois detectores: de ionização de chama (FID) o qual quantifica o CO_2 e CH_4 , com auxílio do metanador, o qual transforma o CO_2 em CH_4 para ser quantificado, enquanto que o detector por captura de elétrons (ECD), determina o N_2O . As condições cromatográficas empregadas foram: detector FID a 250°C , e detector ECD a 325°C , Metanador a 350°C , coluna empacotada a 70°C , com gás de arraste N_2 , com sistema "back-flush" e injeção manual.

As curvas padrão foram realizadas por meio de quatro soluções gasosas padrão White Martins®, contendo as concentrações de 270, 648, 2063 e 7164 ppm de CO_2 ; 0,69, 2,06, 3,05 e 6965 ppm de CH_4 e 305, 693, 1092 e 1885 ppb de N_2O , sendo realizadas em replicata para melhor ajuste da curva.

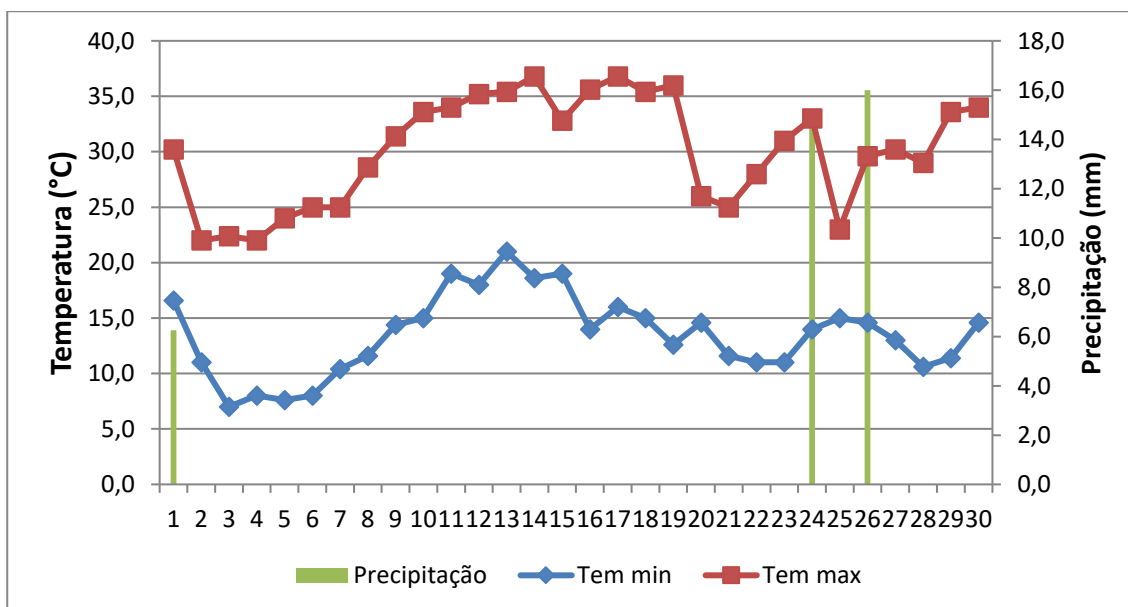


Figura 4. Temperatura máxima , temperatura mínima (°C) e precipitação registradas durante as coletas no mês de outubro, nos anos agrícolas de 2014 na fazenda experimental Lageado (FCA – UNESP). Botucatu-SP.

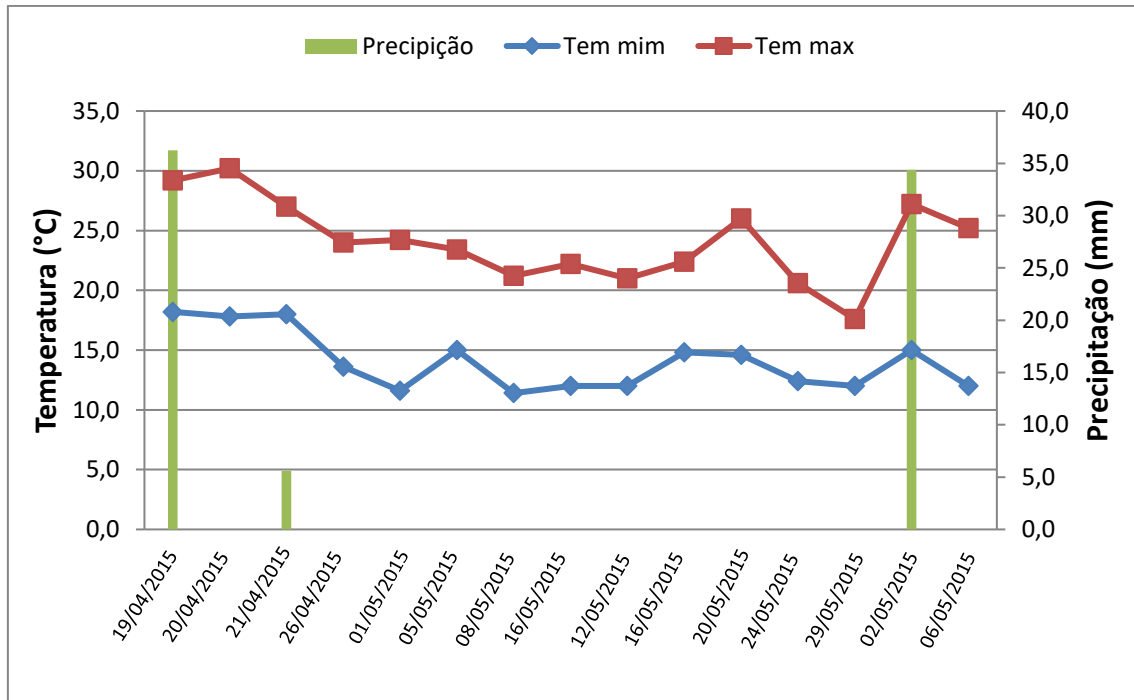


Figura 5. Temperatura máxima , temperatura mínima (°C) e precipitação registradas durante as coletas após a semeadura da aveia , nos ano agrícola de 2015 na fazenda experimental Lageado (FCA – UNESP).Botucatu-SP.

3.8 Temperatura e Umidade do solo

Simultaneamente às coletas das amostras de GEE, foram monitoradas a temperatura e umidade do solo próximo às câmaras de coleta, na profundidade de 0 a 5 cm, em cada parcela e em cada dia de coleta, por meio do equipamento Procheck Soil Moisture e sensor 5TM (Decagon Devices), sendo os valores médios apresentados na Figura 5, 6 e 7.

Este sensor está calibrado para emitir valores de umidade volumétrica ($m^3 m^{-3}$). Porém, para o cálculo da porosidade preenchida por água (item 5.2.7) os valores foram transformados em umidade gravimétrica (U_g) ($kg kg^{-1}$), por meio de um ensaio de bancada em que foi promovido um gradiente de umidade com solo coletado na camada de 0 a 10 cm de profundidade das áreas experimentais. Assim, após realizar as leituras de umidade por meio do equipamento, o solo foi pesado úmido e após secar em estufa de aeração forçada por 48 horas a 105 °C, estabelecendo dessa forma uma correlação que está apresentada na Figura 8.

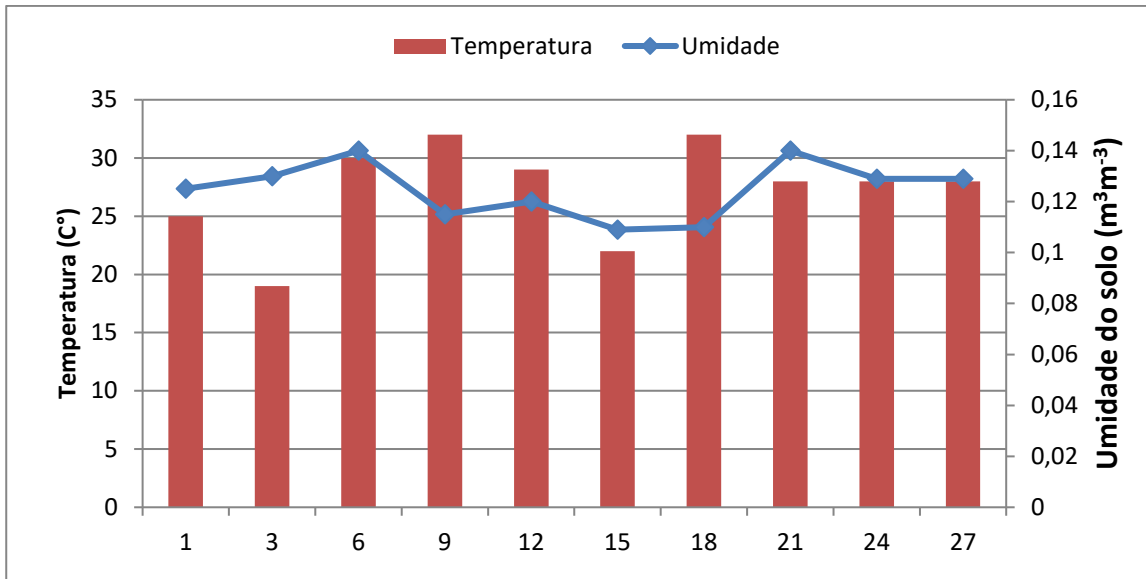


Figura 6. Valores médios de a umidade e temperatura do solo do experimento em cada dia de amostragem de GEE no mês de outubro de 2014.

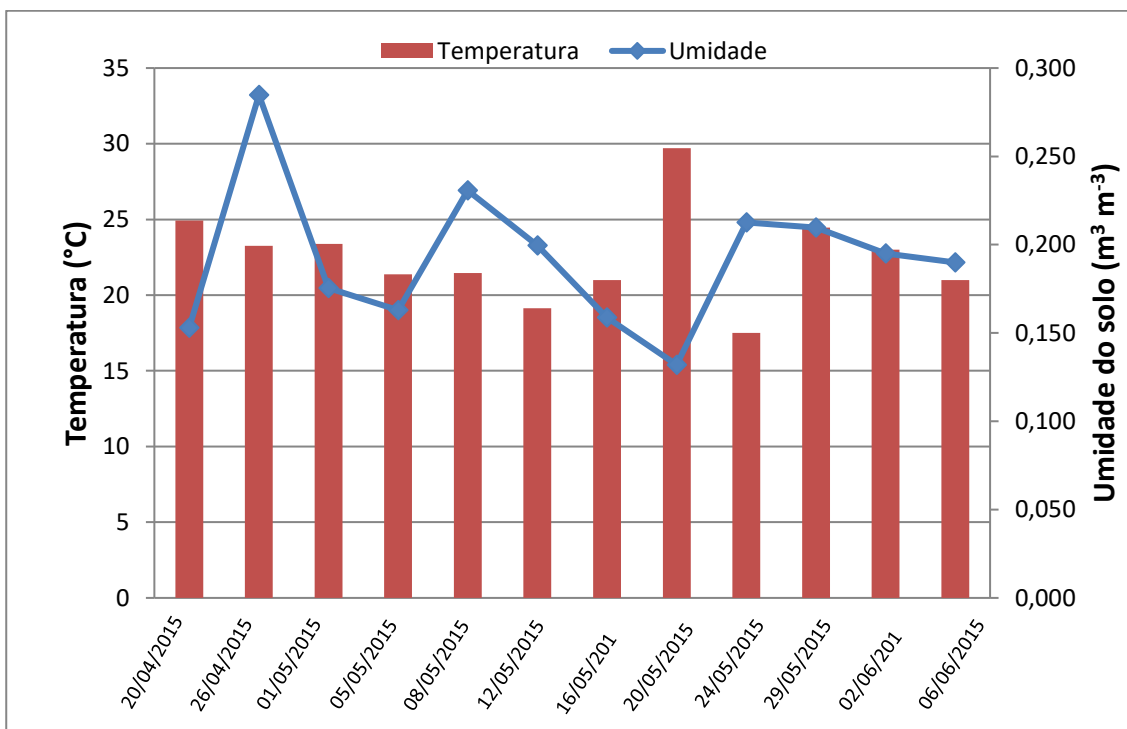


Figura 7. Valores médios de a umidade e temperatura do solo do experimento em cada dia de amostragem de GEE no mês de outubro de 2015.

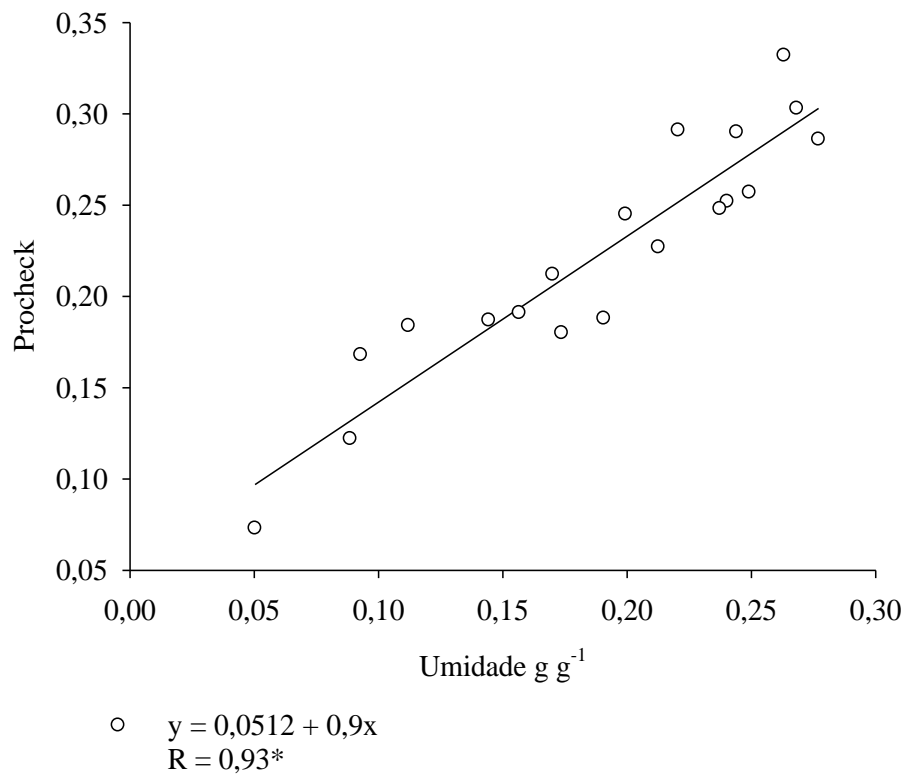


Figura 8. Relação entre umidade volumétrica determinada pelo equipamento (Procheck Soil Moisture e sensor 5TM - Decagon Devices) e a gravimétrica $g\ g^{-1}$ das amostras. * significativo ao nível de 5% de probabilidade.

3.9 Porosidade do solo preenchida pela Água (PPA)

Foi determinada a porosidade do solo preenchida pela água (PPA%), para cada tratamento nos períodos de coleta a partir dos dados de umidade gravimétrica (U_g), juntamente com os valores de densidade do solo (D_s) e porosidade total, por meio da equação 1:

$$PPA (\%) = \frac{U_g \times D_s}{P_t} \quad (1)$$

Onde:

U_g = Umidade gravimétrica ($m^3\ m^{-3}$)

D_s = Densidade do solo ($Mg\ m^{-3}$)

P_t = Porosidade total ($g\ g^{-1}$)

4. ESTUDO ESTATÍSTICO

Para comparação entre os tratamentos foi realizada análise de variância e as médias foram comparadas estatisticamente pelo teste t, no nível de 5 % de probabilidade de erro

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Componentes de produção

Nas tabelas 1 e 2 estão os resultados dos componentes da produção das espécies envolvidas nos consórcios para a produção de silagem nos anos agrícolas 2013/2014 e 2014/2015, respectivamente, em função da presença ou não de feijão-guandu. Na safra 2013/2014 o feijão guandu promoveu aumento da altura de plantas (AP) de milho, reduziu a % da massa de grãos na produção de matéria seca total de silagem e aumentou a produção de matéria seca e verde total de silagem, sem alterar a produção do capim-marandu (Tabela 1), corroborando resultados obtidos por Pariz et al. (2011). Não houve diferenças na população final de plantas de milho (PFP) com a presença de feijão-guandu, o que poderia influenciar ainda mais na PMST e PMVT de silagem (CRUSCIOL et al., 2010). Portanto, a presença de feijão-guandu auxiliou no aumento da PMST e PMVT devido à própria massa adicionada, além de proporcionar aumento da AP de milho, sem redução do diâmetro basal de colmos (DBC) e sem redução da PFP, e também se alterar a produção de matéria seca do capim marandu, o que poderia ocorrer caso houvesse alguma competição entre as espécies consorciadas.

Com o aumento da AP de milho na presença de feijão-guandu, esperava-se que houvesse redução do DBC, o que comprometeria a PFP devido a possíveis tombamentos. Uma possível diminuição do DBC reduziria a capacidade de translocação de nutrientes na planta e tornaria mais susceptíveis ao tombamento pelo efeito do vento, das chuvas e do trânsito de maquinários e implementos (Pariz et al., 2011).

Tabela 1. Componentes da produção e produtividade do milho e do capim-marandu cultivados em consórcio com ou sem feijão-guandu para silagem (ano agrícola 2013-2014).

Variável	Feijão-guandu		P>F [†]	EP [‡]
	Com	Sem		
<u>Milho</u>				
PFP [§] (plantas ha ⁻¹)	81.172 a*	79.937 a	0,7298	2.495
NE (espigas ha ⁻¹)	77.777 a	72.222 a	0,1405	2.569
AP (m)	1,57 a	1,44 b	0,0105	0,03
AIE (m)	0,74 a	0,73 a	0,6242	0,02
DBC (mm)	22,6 a	23,1 a	0,4701	0,48
PMS de grãos (kg ha ⁻¹)	7.244 a	6.738 a	0,1155	218
Grãos (% na PMST)	52,7 b	57,9 a	0,0007	0,9
PMS remanescente (kg ha ⁻¹)	2.490 a	2.218 a	0,3486	201
<u>Capim-marandu</u>				
Altura (m)	0,78 a	0,78 a	0,8847	0,01
PMS na silagem (kg ha ⁻¹)	167 a	174 a	0,8037	20
Proporção na silagem (% na PMST)	1,2 a	1,5 a	0,2019	0,2
PMS remanescente (kg ha ⁻¹)	273 a	305 a	0,4987	33
<u>Feijão-guandu</u>				
Altura (m)	1,49	-	-	-
PMS na silagem (kg ha ⁻¹)	792	-	-	-
Proporção na silagem (% na PMST)	5,8	-	-	-
PMS remanescente (kg ha ⁻¹)	614	-	-	-
PMST (kg ha ⁻¹)	13.761 a	11.664 b	0,0011	394
PMVT (kg ha ⁻¹)	27.119 a	23.599 b	0,0102	886

[†]Probabilidade do teste F. [‡]Erro padrão da média. [§]PFP, NE, AP, AIE, DBC, PMS, PMST e PMVT: população final de plantas, número de espigas por hectare, altura de plantas, altura de inserção da espiga principal, diâmetro basal de colmos, produtividade de massa seca, produtividade de massa seca total e produtividade de massa verde total, respectivamente. *Valores seguidos por letras distintas na linha, diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste t LSD.

Já na safra 2014/2015, a presença da leguminosa forrageira aumentou a PFP e o NE de milho, reduziu a proporção da massa de grãos na massa total de silagem, reduziu a PMS remanescente do capim-marandu e não alterou a PMST e a PMVT de silagem (Tabela 2). A PFP de milho no consórcio com a leguminosa atingiu 85184 plantas ha⁻¹, e o milho sem a leguminosa a PFP foi de 66049 plantas ha⁻¹, conseqüentemente refletindo na PMST, onde o tratamento com a leguminosa resultou

em 13.369 kg ha⁻¹ e sem leguminosa 12.979 kg ha⁻¹. O NE também foi influenciado pelo consórcio feijão-guandu, porém, mesmo com esse aumento no número de espiga não foi suficiente para equiparar a porcentagem de grãos na silagem como resultado obtido sem a leguminosa, o que melhoraria a qualidade da silagem. BARDUCCI et al. (2009) concluíram que o cultivo simultâneo de milho com *Panicum maximum* cv. 'Mombaça' na semeadura comprometeu a produtividade de grãos, e que o melhor consórcio a ser utilizado, visando à utilização em sistemas de produção, foi o milho cultivado simultaneamente com *Brachiaria brizantha* cv. 'Marandu'.

De forma geral a cultura do milho deve apresentar elevada produção de massa seca (média de 17 Mg/ha) e porcentagem de grãos na massa superior a 36% (EVANGELISTA et al., 2003), portanto a silagem produzida nessa pesquisa teve boa qualidade.

Tais resultados demonstram o comportamento da cultura do milho quando em consórcio com a braquiária e o feijão-guandu, influenciados principalmente pela velocidade de estabelecimento da forrageira e aumento da competição por água, luz e nutrientes, o que pode prejudicar o desenvolvimento e conseqüentemente os componentes de produção.

Tabela 2 .Componentes da produção e produtividade do milho e do capim-marandu cultivados em consórcio com ou sem feijão-guandu para silagem (ano agrícola 2014-2015).

Variável	Feijão-guandu		P>F†	EP‡
	Com	Sem		
<u>Milho</u>				
PFPS (plantas ha ⁻¹)	85.184 a*	66.049 b	<0,0001	2.770
NE (espigas ha ⁻¹)	78.703 a	66.049 b	0,0043	2.810
AP (m)	2,31 a	2,25 a	0,2759	0,03
AIE (m)	1,04 a	1,02 a	0,7176	0,03
DBC (mm)	24,0 a	23,6 a	0,2234	0,2
PMS de grãos (kg ha ⁻¹)	6.188 a	6.926 a	0,0612	264
Grãos (% na PMST)	46,3 b	53,4 a	0,0007	1,3
PMS remanescente (kg ha ⁻¹)	1.890 a	1.935 a	0,6851	78
<u>Capim-marandu</u>				
Altura (m)	1,27 a	1,23 a	0,6362	0,05
PMS na silagem (kg ha ⁻¹)	71 a	90 a	0,7033	35
Proporção na silagem (% na PMST)	0,5 a	0,7 a	0,4764	0,2
PMS remanescente (kg ha ⁻¹)	70 b	88 a	0,7154	39

<u>Feijão-quandu</u>				
Altura (m)	1,53	-	-	-
PMS na silagem (kg ha ⁻¹)	867	-	-	-
Proporção na silagem (% na PMST)	6,3	-	-	-
PMS remanescente (kg ha ⁻¹)	608	-	-	-
PMST (kg ha ⁻¹)	13.369 a	12.979 a	0,5087	411
PMVT (kg ha ⁻¹)	28.415 a	28.729 a	0,8169	947

†Probabilidade do teste F.‡Erro padrão da média.§PFP, NE, AP, AIE, DBC, PMS, PMST e PMVT: população final de plantas, número de espigas por hectare, altura de plantas, altura de inserção da espiga principal, diâmetro basal de colmos, produtividade de massa seca, produtividade de massa seca total e produtividade de massa verde total, respectivamente.*Valores seguidos por letras distintas na linha, diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste t LSD

5.2 Massa de matéria seca das plantas forrageiras e da palha sobre o solo

Na amostragem realizada em julho de 2014 e julho de 2015 não obteve-se diferença na quantidade de palha depositada sobre o solo, e nem na quantidade de fitomassa viva de aveia e de capim-marandú (Tabela 3). Em dezembro, após a retirada dos animais e dessecação do pasto para formação de palha, houve efeito significativo dos tratamentos na produção de matéria seca da braquiária sendo que os tratamentos com a leguminosa forrageira com aveia semeada a lanço e em linha proporcionaram 1700 e 1222 kg ha⁻¹ de matéria seca a mais que o tratamento sem a leguminosa respectivamente , provavelmente em função de uma resposta do capim-marandú ao aporte de N pelos resíduos culturas do feijão-quandu. Mesmo colheita das plantas para ensilagem sendo um processo de grande retirada de material vegetal, a matéria seca das raízes pode ser uma importante fonte de nutrientes para as culturas subsequentes. Na amostragem de julho de 2015 os tratamentos com aveia a linha, proporcionaram aumento na produção de matéria seca de aveia, sendo a aveia a cobertura predominante. No total em julho de 2015, os tratamentos sem a leguminosa apresentaram maior fitomassa, mesmo não sendo tendo diferença estatística.

Tabela 3. Produtividade de massa (Kg ha⁻¹) de aveia, braquiária e palha nos tratamentos de verão Milho Consorciado com Braquiária e Milho Consorciado com

Braquiária e Guandu e nos tratamentos de inverno de duas modalidades de semeadura de aveia, “a lanço” e “em linha”.

Tratamentos	Peso em kg/ha			
	Aveia	Braquiária	Palha	Total
Julho 2014				
MBAIa	1667 a	95 b	1570 a	3334 a
MBAIi	1660 a	546 a	1590 a	3379 a
MBGAIa	1250 a	136 b	2145 a	3836 a
MBGAIi	1554 a	71 b	2033 a	3384 a
Dezembro 2014				
MBAIa	-	1671 b	934 b	2556 c
MBAIi	-	2075 b	981 b	3057 bc
MBGAIa	-	3340 a	757 a	4096 ab
MBGAIi	-	3297 a	1179 b	4476 a
Julho 2015				
MBAIa	1582 b	-	1450 a	3037 a
MBAIi	3302 a	-	300 b	3607 a
MBGAIa	2068 b	-	626 b	2695 a
MBGAIi	2385 ab	-	511 b	2846 a

Valores seguidos por letras distintas, dentro de cada época de avaliação, diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste t. MBAIa = milho em consórcio com braquiária no verão e aveia semeada a lanço no inverno. MBAIi = milho em consórcio com braquiária no verão e aveia semeada em linha no inverno. MBGAIa = milho em consórcio com braquiária e guandu no verão e aveia semeada a lanço no inverno. MBGAIi = milho em consórcio com braquiária e guandu no verão e aveia semeada em linha no inverno.

5.3 Estoques de C e N na fitomassa das plantas forrageiras e na palha sobre o solo

Na tabelas 4, estão apresentados os resultados de estoques de C, N e relação da fitomassa das plantas e da palha em coletas realizadas em julho de 2014, dezembro de 2014 e julho de 2015. Na avaliação de julho e dezembro de 2014, verificaram-se maiores estoques de C e N no consórcio MBG. Em dezembro de 2014, os estoques de C e N totais foram de 1963,5 e 54,8 kg ha⁻¹, respectivamente (Tabela 6), sendo a pastagem residual da braquiária o componente que mais contribuiu para esses acúmulos. A aveia presente na área pouco contribuiu para o acúmulo de C e N na fitomassa. Ocasionalmente alta relação C/N para os tratamentos com guandú.

Por fim, na amostragem de julho de 2015, não houve efeito dos tratamentos no acúmulo de C fitomassa das plantas vivas e na palha, tão pouco no total (plantas vivas

e palha), com estoque médio de 1168 kg ha⁻¹ de C , porem houve incremento de N , principalmente oriundos da aveia como residual da pastagem, sendo os maiores estoques de N entre as 3 épocas de amostragem. Rigon (2013) observou efeitos benéficos tanto da braquiária como da crotalaria juncea no acúmulo de N na palha depositada sobre o solo, não havendo diferenças significativas entre essas espécies cultivadas como plantas de cobertura.

Nas duas primeiras épocas de avaliação, a presença da leguminosa forrageira fez com que as culturas aumentaram o acúmulo de palhada na superfície do solo, fazendo com que ocorra incremento da quantidade de C no solo. Além dos benefícios às culturas, o sequestro de carbono no solo pode diminuir também a emissão de gases do efeito estufa, causando menor impacto ambiental na atividade em questão.

De acordo com Bayer et al. (2006), no SPD, torna-se necessária a entrada de cerca de 4 t ha⁻¹ ano de C ao sistema para compensar a quantidade perdida na decomposição dos resíduos orgânicos, o que dificilmente é obtido apenas com culturas anuais para que o sistema seja considerado eficiente e sustentável, portanto, na referida pesquisa, a maior quantidade de C na palha foi de 1 963 kg ha⁻¹ com aveia semeada a lanço (Tabela 3).

Os sistemas de produção na integração lavoura-pecuária com plantio direto, mesmo com alta exportação de nutrientes e tráfego de máquinas, são eficientes para manutenção e até melhoria da fertilidade e dos estoques de carbono do solo (COSTA, 2015). De forma geral, em 2014 os tratamentos com leguminosa manteve alta relação C/N tanto em palha como em plantas, sendo os maiores valores obtidos na braquiária mantendo o carbono acumulado protegido por mais tempo. Em 2015 a relação C/N foi menor devido a baixa produtividade da braquiária. Sendo a palha predominante dos cultivos de verão, e a planta de cobertura predominante aveia.

Tabela 4. Estoque de C,N e relação C/N. Aporte de matéria seca, C e N pelos resíduos vegetais em Kg ha⁻¹, no período de julho de 2014 a julho de 2015, em função dos consórcios de verão e da modalidade de semeadura de aveia no inverno.

Tratamentos	Estoque de C (kg/ha)				Estoque de N (kg/ha)				Relação C/N		
	Aveia	Braquiária	Palha	Total	Aveia	Braquiária	Palha	Total	Aveia	Braquiária	Palha
Julho 2014											
MBAIa	58,42 b	76,6 a	740,4 a	1041 a	3,2 b	5,0 a	15,3 ab	23,1 ab	21,0 a	26,6 b	73,8 a
MBAIi	58,36 b	262,2 a	727,1 a	875 a	2,8 b	1,8 ab	10,16 b	15,5 b	20,4 a	50,6 a	50,0 b
MBGAIa	83,58 b	32,8 a	924,2 a	1156 a	4,8 b	1,5 b	22,3 a	28,7 a	17,4 a	19,0 ab	45,8 b
MBGAIi	131,39 a	66,0 a	1006,7 a	1086 a	7,8 a	1,6 ab	21,3 a	30,8 a	17,0 a	41,0 ab	48,7 b
Dezembro 2014											
MBAIa	-	733,2 b	406,2 ab	1360,4 c	-	27,6 b	6,5 a	34,1 bc	-	31,7 a	79,0 a
MBAIi	-	954,2 b	382,7 ab	1115,2 c	-	23,1 b	4,8 a	28,0 c	-	34,7 a	62,8 a
MBGAIa	-	1493,8 a	313,6 b	1800 ab	-	48,9 a	5,0 a	53,8 ab	-	31,6 a	61,8 a
MBGAIi	-	1465,5 a	470,1 a	1963,5 a	-	48,4 a	6,3 a	54,8 a	-	31,1 a	73,9 a
Julho 2015											
MBAIa	1082,4 a	-	126,18 b	1209,3 a	51,1 a	-	11,3 ab	62,4 a	16,2 a	-	21,1 a
MBAIi	690,0 a	-	590,3 a	1210 a	58,6 a	-	13,0 ab	71,5 a	26,6 a	-	11,1 b
MBGAIa	915,0 b	-	253,0 b	1248 a	56,6 a	-	9,7 b	66,3 a	16 a	-	27,5 ab
MBGAIi	1034,4 b	-	214,5 b	1168 a	45,1 a	-	18,0 a	63,1 a	24,4 a	-	26,4 b

Valores seguidos por letras distintas, dentro de cada época de avaliação e para cada profundidade, diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste t. MBAIa = milho em consórcio com braquiária no verão e aveia semeada a lanço no inverno. MBAIi = milho em consórcio com braquiária no verão e aveia semeada em linha no inverno. MBGAIa = milho em consórcio com braquiária e guandu no verão e aveia semeada a lanço no inverno. MBGAIi = milho em consórcio com braquiária e guandu no verão e aveia semeada em linha no inverno.

5.4 Nitrogênio e Carbono no Solo

Contrariando as expectativas, não houve diferença entre os tratamentos, tanto de verão como de inverno, nos estoques de COT e NT na camada de 0-40 cm de profundidade, independente da época de amostragem, já que o manejo do solo juntamente com a cultura vegetal condicionam o estoque de C do solo (LENKA et al., 2012). Talvez, o aporte de palha das espécies cultivadas não esteja sendo suficiente para aumentar a matéria orgânica do solo e os estoques de COT no perfil do solo. Em trabalho longa duração realizado na FCA/UNESP envolvendo diferentes plantas de cobertura, Rigon (2013) verificou que com um aporte anual de aproximadamente 12,5 Mg ha⁻¹ de palha, utilizando braquiária *ruziziensis* no outono-inverno, milho na primavera e soja no verão, os estoques de C e N na camada de 0-40 cm foram em torno de 110 e 7,3 Mg ha⁻¹, em solo com menor teor de argila que o do presente experimento, o que significa ter um ponto de saturação de armazenamento de C e N menor. Isso descarta a possibilidade do aumento dos estoques de MOS estar sendo impedido por ter atingido o ponto de saturação no solo (Bayer et al., 2011).

SCHIAVO (2011) verificou que a pastagem de braquiária é a cobertura de solo que proporciona índices de manejo de carbono no solo mais próximos aos da vegetação de cerrado. Com o pastejo as plantas são estimuladas a perfilhar e conseqüentemente emitem mais raízes, fato que pode explicar os maiores valores de C no solo no mês de dezembro 2014, onde a planta de cobertura predominante é a braquiária. O decréscimo no valor de C no solo em Julho de 2015, também esta condicionado a baixa matéria seca de braquiária.

Em sistemas com baixa adição de fertilizantes nitrogenados, é desejável utilização de uma cultura de cobertura leguminosa com potencial de fornecimento de N para a cultura comercial cultivada em sucessão (AITA et al., 2001; AMADO et al., 2000). Sistemas de culturas que apresentam baixo suprimento de N nesse período, como é o caso de sistemas com uso exclusivo de gramíneas, necessitam de N proveniente de fertilizantes minerais ou orgânicos (dejetos animais), os quais podem determinar o aumento considerável da emissão de N₂O do solo no sistema de produção, comprometendo a sustentabilidade do agroecossistema.

A adição dos mesmos resíduos vegetais e animais ao solo durante os 4 anos de condução do experimento, não afetaram os estoques de C no solo, na camada 0-40 , tendo valores muito próximos no ano de 2014, porém houve

um decréscimo no C do solo após o cultivo de verão em 2015. A baixa produção de matéria seca pode ter ocasionado decréscimo de C no solo nessa época.. O acréscimo de N no solo de maio para dezembro 2014 esta relacionado com o aumento de N e quantidade de palha , aumentando a matéria orgânica do solo.

Pastejo com intensidades moderadas podem acumular mais C e N que sistemas sem pastejo. Conte (2007) enfatiza que sistemas de ILP submetidos a altas intensidades de pastejo geram menores quantidades de material vegetal da parte aérea disponível para os animais e conseqüentemente menores quantidades de material vegetal será adicionado ao solo. Como visto nessa pesquisa, o menor aporte de matéria seca de braquiária no ano de 2015 afetou o incremento de C no solo. Souza (2008) verificou em seus estudos na região do Planalto Médio do RS, que a intensidade de pastejo influencia a massa de raízes e é inversamente proporcional a altura do pasto, além disso, intensidades de pastejo moderadas (20 e 40 cm de altura do pasto) em sistemas de ILP promovem aumento nos estoques de C e N total no solo, semelhante ao plantio direto sem pastejo. Bayer (2008) destaca que é necessário o acúmulo de $4,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ para manutenção do C no solo, explicando o decréscimo de C em maio de 2015 . Outros autores (Boeni, 2007; Souza, 2008) destacam que intensidades moderadas de pastejo sob sistema de ILP é considerado um dos sistemas de manejo mais eficientes em melhorar a estrutura do solo. Assim, nota-se que o manejo das pastagens ou adequação da carga animal são fatores decisivos para a adequada produtividade com sustentabilidade do sistema. Nicolosso (2008) relata que o solo sob integração lavoura-pecuária tem potencial para ser um dreno de C atmosférico, desde que no inverno seja adotado um intervalo de pastejo de 28 dias e evite-se a monocultura de soja no verão.

Tabela 5. Estoque de C e N, em kg ha^{-1} , na camada 0,0 a 0,40 m e no perfil do solo (0 a 0,40 m), em avaliações realizadas em julho e dezembro de 2014 e em julho de

2015, em função dos consórcios de verão e da modalidade de semeadura de aveia no inverno.

Tratamentos	Estoque de C (kg ha ⁻¹) Estoque de N (kg ha ⁻¹)	
	0,0 – 0,4 m	
Julho de 2014		
MBAIa	77500 a	5813 a
MBAIi	90000 a	5875 a
MBGAIa	84000 a	5951 a
MBGAIi	81000 a	5880 a
Dezembro de 2014		
MBAIa	86000 a	10898 a
MBAIi	84000 a	10942 a
MBGAIa	85000 a	10944 a
MBGAIi	82000 a	10929 a
Julho de 2015		
MBAIa	81000 a	10955 a
MBAIi	80000 a	11000 a
MBGAIa	84700 a	11025 a
MBGAIi	84700 a	10972 a

Valores seguidos por letras distintas, dentro de cada época de avaliação e para cada profundidade, diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste t. MBAIa = milho em consórcio com braquiária no verão e aveia semeada a lanço no inverno. MBAIi = milho em consórcio com braquiária no verão e aveia semeada em linha no inverno. MBGAIa = milho em consórcio com braquiária e guandu no verão e aveia semeada a lanço no inverno. MBGAIi = milho em consórcio com braquiária e guandu no verão e aveia semeada em linha no inverno.

5.5 Carbono da Biomassa Microbiana

O teores de C e N da biomassa microbiana variaram em função dos tratamentos somente o N microbiano apresentou diferença estatística, sendo os maiores teores de C e N da biomassa microbiana foram obtidos no tratamento com milho em consórcio com braquiária e guandu no verão e aveia semeada em linha no inverno (Tabela). Neste trabalho as variações nos teores de C e N da biomassa microbiana entre os tratamentos pode estar relacionado com os diferentes aportes e relação C/N da palha ao longo dos anos, Hatch et al. (2000) e Vargas et al. (2005) observaram, em solo sob pastagem e plantio direto, respectivamente, aumentos no N da biomassa microbiana apenas em longo prazo. Esses autores argumentam que isso se deve ao efeito acumulativo de resíduo vegetal e consequente aumento de C orgânico no solo.

A alta intensidade de pastejo, com altura de pasto menor que 5 cm pode ter influenciado nos teores de C e N da biomassa microbiana, sendo que a pastagem demora para perfilhar e cobrir o solo, promovendo uma condição adversa aos microorganismos, diminuindo sua população, fato que pode explicar as diferenças nos teores de C e N da biomassa microbiana. Souza et al (2010) estudando a biomassa do solo em sistema de integração lavoura pecuária em plantio direto submetidos a diferentes intensidades de pastejo, concluiu que alta intensidade de pastejo, pode provocar a redução do C e N da biomassa microbiana, e que intensidade moderada de pastejo consegue manter a qualidade biológica do solo.

Na presente pesquisa não há efeito negativo da inserção dos animais no sistema, apresentando altos teores de C da biomassa microbiana, demonstrando que a biomassa microbiana representa um importante compartimento lábil da matéria orgânica do solo, o qual é essencial a ciclagem de nutrientes e a dinâmica das demais frações da matéria orgânica do solo (Souza et al 2010), a decomposição dos resíduos animais influenciou nos altos teores de C e N da biomassa microbiana, por fornecer um material orgânico mais susceptível a decomposição, com menores resultados encontrados por e Alves (2016) em áreas de plantio direto no verão e forrageira no inverno sem pastejo animal.

Tabela 6. Teor de C e N, em kg ha^{-1} , na camada 0,1 metro, na avaliações realizada em dezembro de 2015, em função dos consórcios de verão e da modalidade de semeadura de aveia no inverno

Tratamentos	C e N Microbiano (mg/kg)	
	0,0 – 0,1 m	
	Carbono	Nitrogênio
MBAli	392 a	37 ab
MBAIa	365 a	25 b
MBGAlI	475 a	57 a
MBGAIa	343 a	23 b

*Valores seguidos por letras distintas, diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste t . MBAIa = milho em consórcio com braquiária no verão e aveia semeada a lanço no inverno. MBAli = milho em consórcio com braquiária no verão e aveia semeada em linha no inverno. MBGAIa = milho em consórcio com braquiária e guandu no verão e aveia semeada a lanço no inverno. MBGAlI = milho em consórcio com braquiária e guandu no verão e aveia semeada em linha no inverno.

5.6 Emissão de Gases do Efeito Estufa

5.6.1 Coletas de 2014

Em solos agricultáveis, normalmente ocorre influxo de CH₄. No entanto, a pressão pastejo com 50 cabeças/ha imposta nessa pesquisa pode ter ocasionado uma compactação temporária do solo e maior taxa de oxidação de CH₄, pois a compactação tem efeito negativo na difusão do O₂, prejudicando o sumidouro de CH₄ no perfil do solo (HUTSH, 2001). Explicando assim o fato de na área com pastejo a emissão de CH₄ foi maior (Figura 9A) que a área isolada do pisoteio dos animais (Figura 9B). Além do solo, a emissão de CH₄ pode ser proveniente de outras fontes, principalmente a fermentação entérica ruminal, processo principal na emissão deste gás no país. O metano entérico, emitido por herbívoros ruminantes, como bovinos, ovinos, bubalinos e caprinos é derivado da atividade das *Archaea* metanogênicas, que utilizam o O₂ produzido durante a fermentação microbiana do alimento como fonte de energia, produzindo metano (Miller, 1995).

No entanto, solos extremamente secos remetem a baixa atividade microbiana, o que reduz a oxidação do metano em solos (Dobbie & Smith, 1996). Observa-se que com o aumento dos valores da PPA, menores são os influxos de CH₄ no solo, indicando que quando a umidade do solo aumenta, este passa a se comportar como uma fonte de CH₄ e não mais um dreno. De forma geral, praticamente não houve influxo de CH₄ para o solo, mesmo sem pastejo. Os picos de emissão para todos os tratamentos aconteceu na última coleta, onde os tratamentos com aveia semeada em

linha apresentaram maiores emissões. No dia 24/10/2014 ocorreu uma precipitação de 15 mm e no dia 25/10/2014 de 16 mm, contribuindo para o aumento da umidade do solo (Figura 4), e, o aumento na umidade do solo ou condições anaeróbicas proporcionam condições ideais para a metanogênese.

A emissão acumulada média de CH_4 durante o período avaliado foi similar entre os tratamentos, podendo ser considerado fonte de C- CH_4 . Resultados diferentes foram encontrados por Alcalde (2011), onde a emissão acumulada média de CH_4 foi de $-0,85 \text{ kg C-CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, tornando o solo um dreno de C- CH_4 .

Segundo Tomazi (2015), o CH_4 proveniente da fermentação entérica foi o principal parâmetro que contribuiu para as maiores emissões de GEE, seguido dos custos em CO_2 das atividades agrícolas/insumos e das emissões de N_2O do solo. As emissões de CH_4 e N_2O apresentaram relação com o aumento da PPA do solo, indicando a desnitrificação como o principal processo de produção de N_2O do solo.

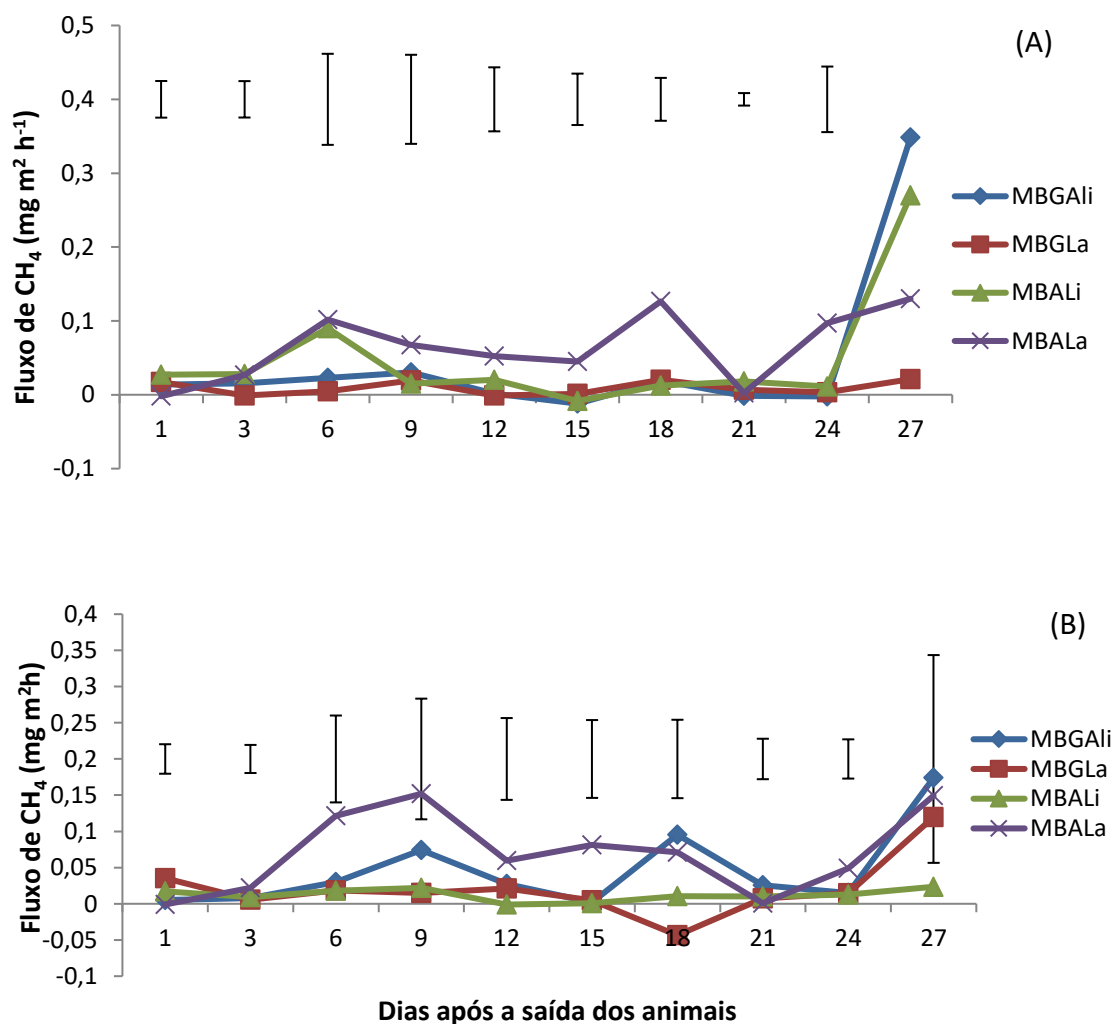


Figura 9. Fluxo de CH₄ com (A) e sem (B) a influência do pastejo dos animais, com consórcio entre milho+braquiária e sementeira de aveia em linha e a lanço (MBALi e MBALa, respectivamente) e com consórcio entre milho+braquiária+guandu, também com aveia em linha e a lanço (MBGALi e MBGALa, respectivamente) Barras verticais correspondem ao DMS pelo teste t a 5 % de probabilidade.

Para as emissões de CO₂ verificou-se maiores emissões nos tratamentos com Feijão-guandú com pastejo e sem pastejo (Figura 10A e 10B, respectivamente). O maior aporte de N pela palha nesses tratamentos pode ter influenciado na atividade microbiana, fato que não ocorreu nos tratamentos sem feijão-guandú. Em todos os tratamentos os fluxos foram maiores nas amostragens realizadas após o dia 18/10/2014, onde as temperaturas ficaram acima dos 25°C e altas umidades, período onde ocorreu precipitação de 31 mm. De forma geral os tratamentos com e sem pastejo tiveram emissões acima dos 150 mg m² h⁻¹ chegando a picos de 1200 mg m² h⁻¹. Durante o período de coleta a planta de cobertura predominante foi a braquiária, e com a alta carga animal e conseqüentemente grande pressão de pastejo (50 ua/há), a braquiária foi estimulada a perfilhar e produzir mais raízes, fato que pode explicar as maiores emissões logo após as chuvas depois do dia 18/10 no início do verão, onde a umidade e temperatura alta foi propício para o crescimento da gramínea, aumentando as taxas de respiração do solo e das raízes, conseqüentemente emitindo mais CO₂.

A baixa emissão de CO₂ até o dia 15/10 pode ser explicada pela baixa precipitação e temperaturas amenas (14 a 20°C) característica desse período que antecede o começo do verão, reduzindo a decomposição da palha, mesmo havendo umidade satisfatória no solo. Assim, fica evidente que as emissões dos GEE estão condicionadas às condições climáticas, sendo influenciadas tanto pela umidade no solo como pela umidade na palha.

De forma geral o fluxo de CO₂ com pastejo e sem pastejo se manteve parecido até as coletas do dia 15/10. Nas últimas avaliações foram verificados os picos máximos de emissão de CO₂ para os tratamentos com feijão-guandu, sendo bastante diferenciada entre os tratamentos, podendo ser atribuído as maiores emissões de CO₂ em função do somatório das respirações das raízes, microorganismos e da fauna do solo.

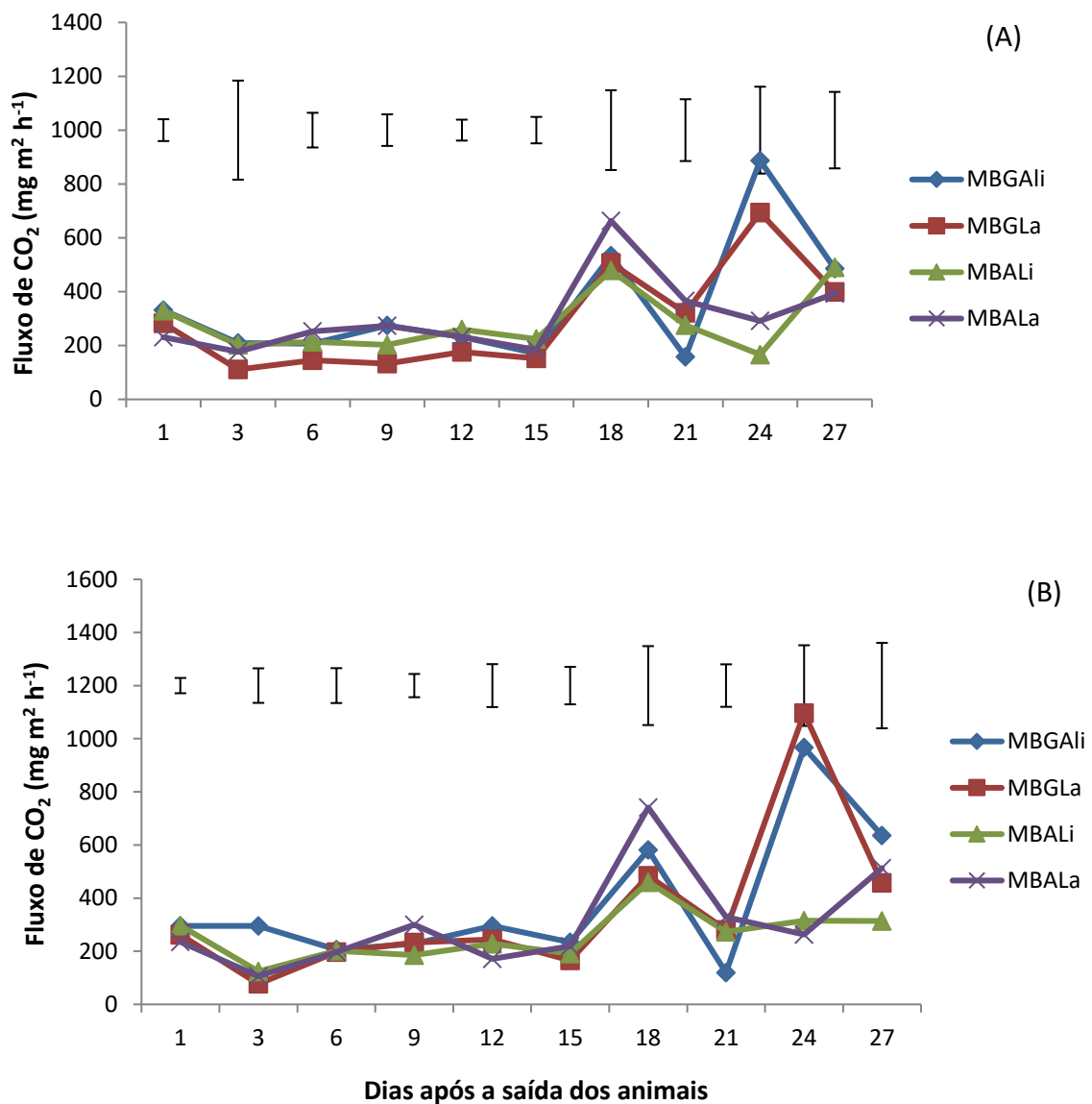
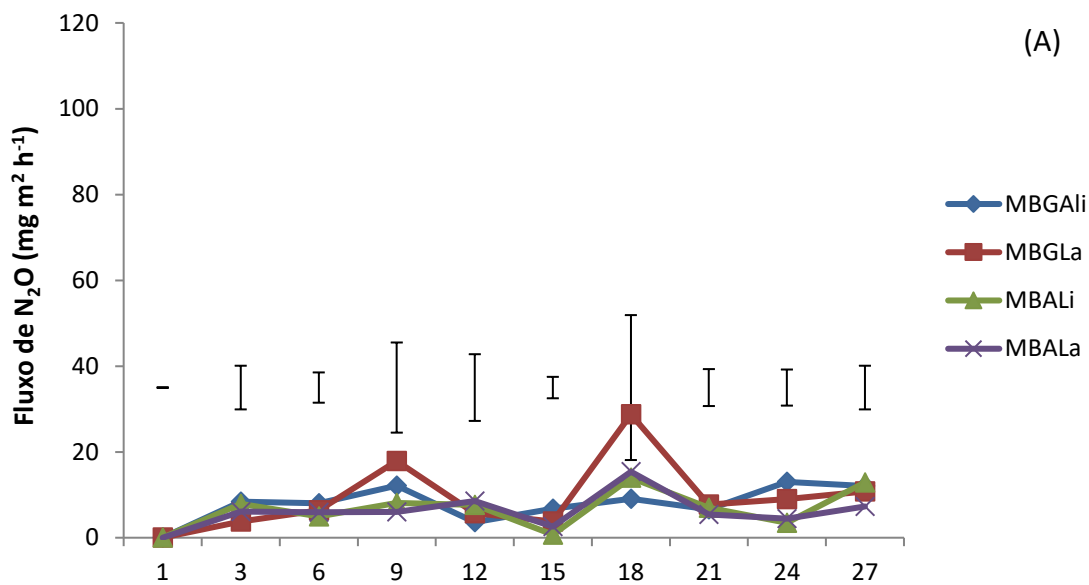


Figura 10. Fluxo de CO₂ com (A) e sem (B) a influência do pastejo dos animais, com consórcio entre milho+braquiária e sementeira de aveia em linha e a lanço (MBALi e MBALa, respectivamente) e com consórcio entre milho+braquiária+guandu, também com aveia em linha e a lanço (MBGALi e MBGALa, respectivamente). Barras verticais correspondem ao DMS pelo teste t a 5 % de probabilidade.

As maiores emissões de N₂O ocorreram no consórcio MBG e com sementeira da aveia a lanço, tanto na presença como na ausência dos animais (Figura 10 A e 10 B, respectivamente), sendo esse o mesmo tratamento com maior aporte de C e N, nas avaliações realizadas em julho e dezembro de 2014. Os valores obtidos são condizentes com sistemas ILP, haja visto que ocorrem aporte e decomposição de resíduos vegetais ricos em N, oriundos tanto da pastagem quanto das culturas de verão, elevando os fluxos em todos os tratamentos de forma semelhante. Porém a presença de animais com alta intensidade de pastejo 50 UA/ha, faz ocorrer uma dinâmica diferente de onde não houve pastejo, e deposição de dejetos animais (principalmente a urina)

Altas taxas de emissão de N_2O ocorrem quando o solo apresenta grande parte da porosidade preenchida por água (PPA), acima de 60%, o que dificulta a difusão de O_2 no solo e favorece a formação de ambientes anaeróbicos (Dobbie & Smith, 2001; Smith et al, 2003; Bateman & Baggs, 2005). Geralmente, as taxas de desnitrificação aumentam com a elevação do teor de NO_3^- no solo sob condições favoráveis à desnitrificação (como alta umidade) e quando fatores como temperatura e C orgânico disponível não são limitantes (Dalal et al., 2003). As maiores emissões de N_2O também são logo após a fertilização, por isso não ocorrendo grandes picos de emissão na presente pesquisa, pois se trata de uma avaliação de pastagem em pousio. A deposição de urina também eleva a emissão de N_2O , diminuindo com o tempo, sendo a principal fonte com pastejo em região subtropical. (TOMAZI, 2015).



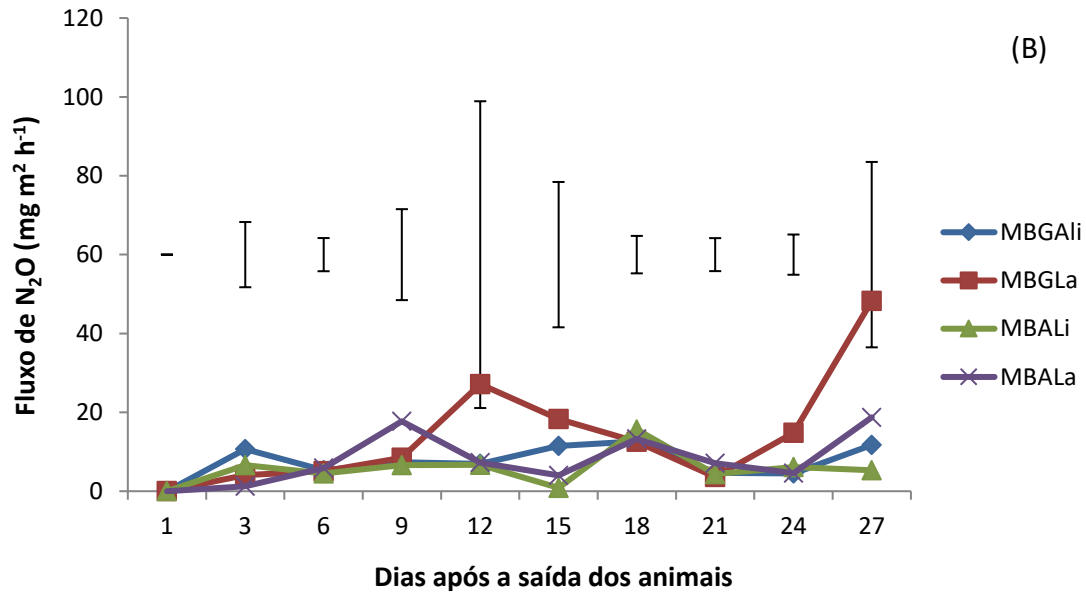


Figura 11. Fluxo de N₂O com (A) e sem (B) a influência do pastejo dos animais, com consórcio entre milho+braquiária e semeadura de aveia em linha e a lanço (MBALi e MBALa, respectivamente) e com consórcio entre milho+braquiária+guandu, também com aveia em linha e a lanço (MBGAlI e MBGAla, respectivamente). Barras verticais correspondem ao DMS pelo teste t a 5 % de probabilidade.

Quando se calculou a emissão acumulada dos GEE durante esse período de avaliação no ano de 2014, verificou-se diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 7), para a condição sem presença dos animais. Porém, a emissão média de 534 kg ha⁻¹ de C-CO₂ foi muito superior à emissão acumulada de 220 kg ha⁻¹ durante o cultivo da soja (120 dias) registrada por Rigon (2013), em solo e clima semelhantes. Já em área pastejada, verificou-se diferenças significativas na emissão de C-CO₂ acumulado, com maior emissão no tratamento com MBG (Tabela 8).

Tabela 7. Emissão acumulada de C-CO₂, C-CH₄ e N-N₂O, em kg ha⁻¹, nas avaliações realizadas no ano de 2014, sem a influência do pastejo animal.

Tratamentos	C-CO ₂	kg ha ⁻¹	
		C-CH ₄	N-N ₂ O
MBAla	476 b	0,12 b	0,028 a
MBAlI	513 b	0,057 a	0,032 b
MBGAla	593 a	0,19 b	0,043 b
MBGAlI	540 b	0,269 b	0,039 b

Tabela 8. Emissão acumulada de C-CO₂, C-CH₄ e N-N₂O, em kg ha⁻¹, nas avaliações realizadas no ano de 2014, com a influência do pastejo animal.

Tratamentos	C-CO ₂	C-CH ₄ kg ha ⁻¹	N-N ₂ O
MBAIa	526 b	0,31 a	0,026 a
MBAIi	460 a	0,17 a	0,027 a
MBGAa	492 a	0,03 b	0,040 a
MBGAIi	684 a	0,13 a	0,039 a

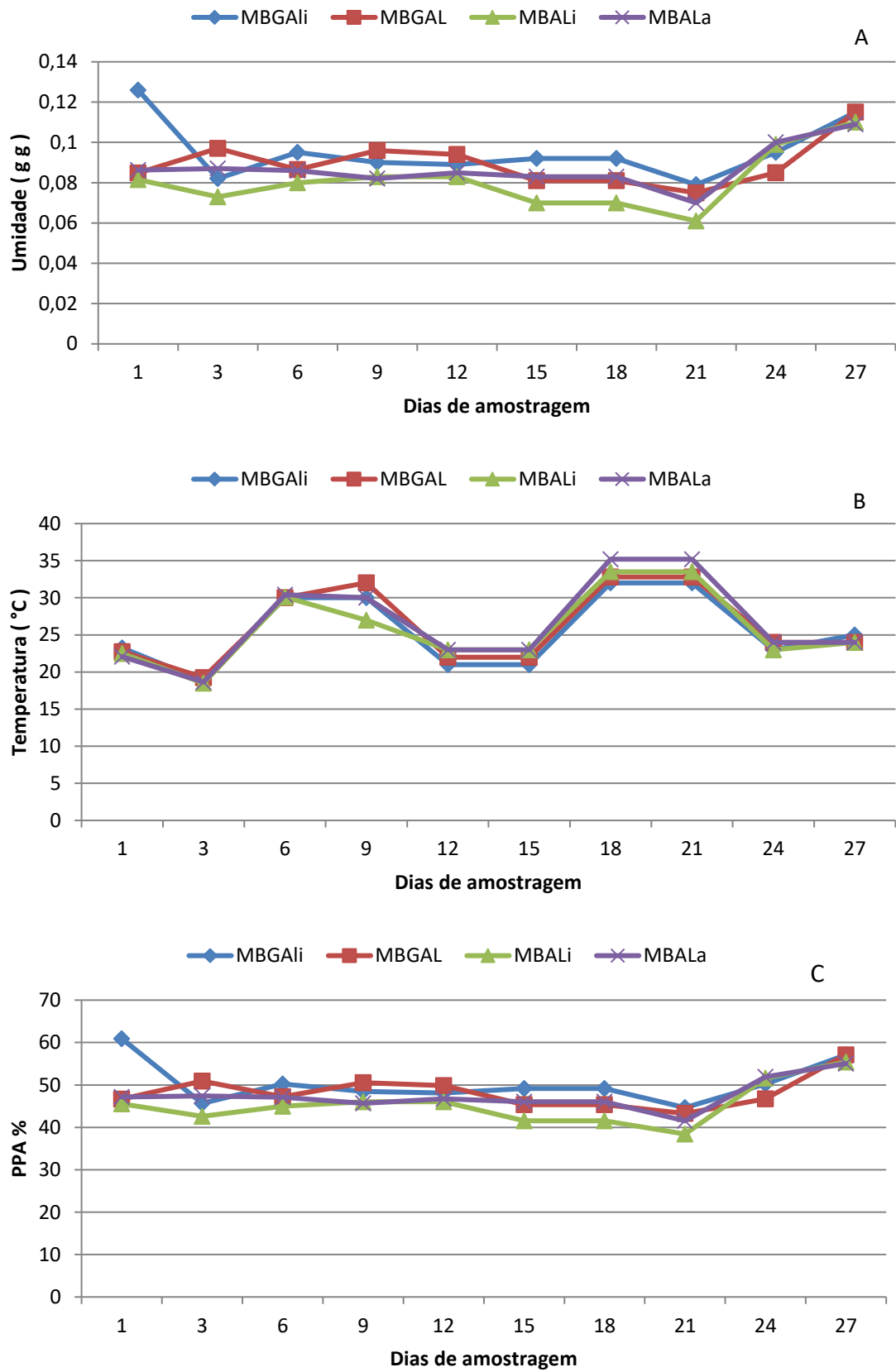


Figura 12. Umidade g g⁻¹ (A), Temperatura °C (B) e PPA % (C) para as coletas de 2014.

5.6.2 Coletas de 2015

Quanto às emissões de CH_4 durante o cultivo da aveia de 2015 (Figura 11A) fica evidente que o solo atuou como fonte de CH_4 , notando-se diversos momentos de efluxo do gás. Solos aerados influenciam diretamente a taxa de difusão dos gases, oxidando de forma mais intensa o CH_4 e proporcionando influxos desse gás (Boeckx et al., 1997). Fato ocorrido com os tratamentos MBA1a e MBG1a, onde foi feita uma gradagem leve para a incorporação das sementes de aveia. Os tratamentos com MBGAl1 e MBG1a apresentaram os maiores picos de emissão na coleta do dia 16/05/2015 (26 dias após o início das coletas).

O fator dreno é verificado em solos não perturbados, mas ao serem convertidos em atividades agrícolas, normalmente atuam como fonte de CH_4 , principalmente associados à fertilização nitrogenada (MOJEREMANE et al, 2011). Sob uma meta-análise, LIU e GREAVER (2009) observaram uma redução de 38% na oxidação do CH_4 em resposta a aplicação de nitrogênio no solo. No entanto, este fato não está totalmente elucidado, havendo trabalhos em que solos com altas taxas de mineralização não proporcionaram a redução da oxidação do CH_4 (JACINTHE e LAL, 2005). Isto pode estar atrelado à uma mudança gradativa de microrganismos metanotróficos, que ocorrem nos solos dependendo do seu manejo, por microrganismos nitrificadores, acentuados em solos intensamente adubados, o que relaciona-se a adubação nitrogenada (CASTRO et al. 2002). O estoque de N no solo da coleta de dezembro de 2014 para a coleta de julho de 2015 em todos os tratamentos não se alterou (Tabela 4), parte desse N foi utilizado pelas culturas de verão e parte desse N pelos microrganismos do solo, aumentando assim as emissões de N_2O e diminuindo o influxo de CH_4 . Geralmente em áreas de ILP, a maior parte das emissões de CH_4 é atribuída a fermentação entérica de ruminantes e não ao solo.

Com a adoção de sistemas conservacionistas de manejo, existe a expectativa de recuperar a capacidade oxidativa de CH_4 do solo, mas a mesma deve ocorrer numa perspectiva de décadas e, possivelmente, seja restringida pelo uso intensivo de fertilizantes nitrogenados, bem como de plantas leguminosas de cobertura de solo (BAYER et al., 2012).

Para o CO₂ parece haver uma maior emissão desse gás quando se faz a semeadura da aveia a lanço (Figura 13 B), provavelmente pela incorporação as sementes com gradagem leve. Esse perturbação do solo pode ter proporcionado uma maior difusão do CO₂, além da exposição da MOS devido à quebra dos agregados e também pelo aumento da oxigenação do solo, propiciando aumento da oxidação da MOS. A mínima mobilização do solo pelo plantio já pode ser suficiente para promover o aumento das emissões (PES, 2009). Os picos de emissão após o plantio também estão relacionados com o aumento da umidade e temperaturas do solo amenas, que podem ter propiciado condições ideais para a atividade microbiana. O preparo de solo e o manejo de culturas afetam as taxas metabólicas dos microrganismos nos processos de decomposição dos resíduos vegetais e da matéria orgânica no solo (MOS), as quais também são influenciadas pela temperatura e umidade do solo (La Scala Jr. et al., 2006).

Os resultados demonstram que a temperatura e a umidade do solo influenciaram os fluxos dos CO₂, com as menores emissões observadas durante o período final de avaliações, com a aproximação do inverno, devido à redução de umidade e temperatura do solo, resultando em menor atividade microbiana e menor respiração radicular (RAMOS et al, 2005). Esperava-se que logo após a instalação da cultura da aveia em 2015 as emissões de CO₂ fosse ser maior, devido à mobilização do solo provocada pelo processo de semeadura, conforme sugerido por La Scala Jr et al. (2009) e Teixeira et al. (2010), e constatado por Rigon (2013) e Pes (2009). Porém, isso não foi constatado, possivelmente devido à baixa umidade do solo no momento dessa avaliação (Figura 6).

As condições climáticas de outono-inverno em que foram realizadas as avaliações de GEE no ano de 2015 pode explicar a maior uniformidade nas emissões de CO₂, mesmo com aporte diferenciado de C e N ao solo pelas culturas da safra verão 2014/2015 (Tabela 4), corroborando resultados obtidos por Rigon (2013) também em coletas de outono-inverno, que obteve baixa emissão de CO₂ mesmo em solo de mata nativa, onde havia grande quantidade de MO lábil.

Siqueira Neto et al. (2011), ao avaliar a emissão de CO₂ em diferentes ocupações do solo em ambiente de Cerrado (pastagem, preparo convencional, SSD e mata nativa), verificaram que a emissão de CO₂ variou devido à sazonalidade climática, com maior emissão no verão em relação inverno. Segundo os autores a

umidade do solo foi a variável do solo que mais interferiu no fluxo dos gases. Dentre os fatores que mais condicionam as emissões de CO₂ estão a temperatura do ar e do solo e o teor de umidade do solo, que diferem conforme o manejo do sistema utilizado (COSTA et al., 2008; CHAVEZ et al., 2008; SIQUEIRA NETO, 2011). Isso é decorrente dos processos de respiração e decomposição estarem relacionados a atividades de microrganismos que são extremamente dependentes da quantidade de água no solo (DAVIDSON & JASSENS, 2006). Costa et al. (2008), Escobar (2008) e Chavez (2007), também observaram correlação positiva entre a emissão de CO₂ e a temperatura do solo. Fang e Moncrieff (2001) relatam ter encontrado as maiores emissões de CO₂ próximas à temperatura de 32° C, considerada como temperatura ótima para respiração do solo.

Para as emissões de N₂O nesse período de avaliação (Figura 13C), o maior pico de emissão foi na sexta coleta, no dia 12/05/2015, com o tratamento MBGLa, com temperatura no momento da coleta de 18°C. Mesmo com temperaturas baixas não foi suficiente para limitar a emissão de N₂O, possivelmente devido ao maior acúmulo de N na palha nesse tratamento (Tabela 3). Rigon (2013) também observou maiores picos de emissão de N₂O na presença de palhada de leguminosa, no caso a *Crotalaria juncea*, no entanto, o autor argumenta que, embora o uso da leguminosa possa gerar picos de emissões de N₂O, a capacidade de fixação do N atmosférico dessas espécies reduz a necessidade de fertilizantes nitrogenados, os quais são os principais responsáveis pela emissão do N₂O.

Em temperaturas mais baixas as taxas de nitrificação e desnitrificação são reduzidas, reduzindo também a formação de N₂O (Maag & Vinther 1996). Temperaturas um pouco mais elevadas podem contribuir com o aumento das emissões de N₂O (Jiang et al, 2010). Os valores obtidos são condizentes com sistemas ILP, haja visto que ocorrem aporte e decomposição de resíduos vegetais e animais ricos em N, oriundos tanto da pastagem quanto das culturas de verão, elevando os fluxos em todos os tratamentos de forma semelhante. Os tratamentos MBGLa e MBALa apresentaram também maiores valores de PPA. A maior emissão nesses tratamentos pode ser explicada pela gradagem leve realizada logo após a semeadura da aveia a lanço, para incorporação das sementes, aumentando o espaço poroso, favorecendo PPA maiores. Essa alta emissão de N₂O pode ser explicada pela alta umidade do solo constatada por ocasião dessa amostragem, que permite uma maior taxa de mineralização do N, e conseqüentemente maior emissão de N₂O

(NELSON LEMKE, 2011). Além disso, essa alta umidade promoveu PPA maior, que pode ter favorecido o processo de desnitrificação, que é o principal fator de emissão gasosas de N. A alta umidade do solo e disponibilidade de N provavelmente favoreceu a atividade de bactérias, principalmente as desnitrificadoras que atuam como produtoras de N₂O (Luo et al., 2000).

Quando comparados a sistemas com uso exclusivo de gramíneas, os sistemas com leguminosas disponibilizam N em maior quantidade nas primeiras semanas após o manejo das culturas de cobertura, devido à rápida mineralização (ACOSTA et al., 2014). Por outro lado, gramíneas, e em especial a aveia, pode apresentar um processo lento de mineralização, levando vários meses para que ocorra liberação do N presente na biomassa (AITA & GIACOMINI, 2003).

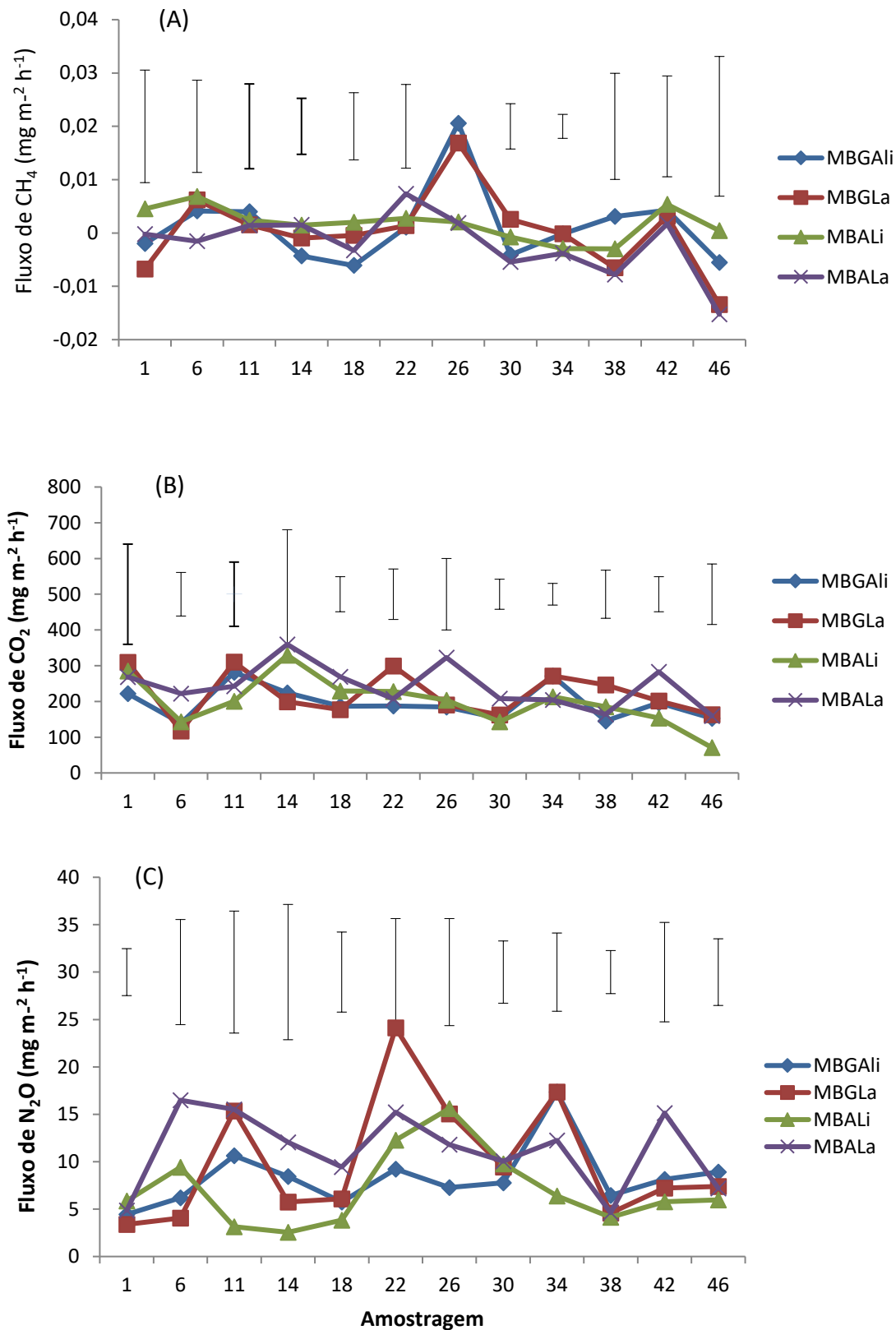


Figura 13. Fluxo de CH₄ (A), CO₂ (B) e N₂O (C), sendo as amostragens 1, referentes a 1 dia antes da semeadura da aveia, 3,6,11,14,18,22,26,30,34,38,42,46 dias após a semeadura da aveia da safra de 2015, respectivamente, com consórcio entre milho+braquiária e semeadura de aveia em linha e a lanço (MBALi e MBALa, respectivamente) e com consórcio entre milho+braquiária+guandu, também com aveia em linha e a lanço (MBGAlI e MBGLa, respectivamente). Barras verticais correspondem ao DMS pelo teste t a 5 % de probabilidade.

Na avaliação de emissões acumuladas de GEE durante o cultivo da aveia (entre abril e maio de 2015), verificou-se menor emissão acumulada de CH₄ com o tratamento envolvendo o consórcio entre milho, braquiária e feijão-guandu (Tabela 13), sendo esse um resultado importante, já que o potencial de efeito estufa do desse gás é 23 vezes maior que a do CO₂ (IPCC, 2001).

Tabela 13. Emissão acumulada de C-CO₂, C-CH₄ e N-N₂O, em kg ha⁻¹, nas avaliações realizadas no ano de 2015.

Tratamentos	C-CO ₂	C-CH ₄ kg ha ⁻¹	N-N ₂ O
MBAIa	465 a	0,024 a	0,046 a
MBAIi	438 a	0,010 a	0,044 a
MBGAa	435 a	0,009 a	0,047 a
MBGAIi	462 a	0,032 a	0,050 a

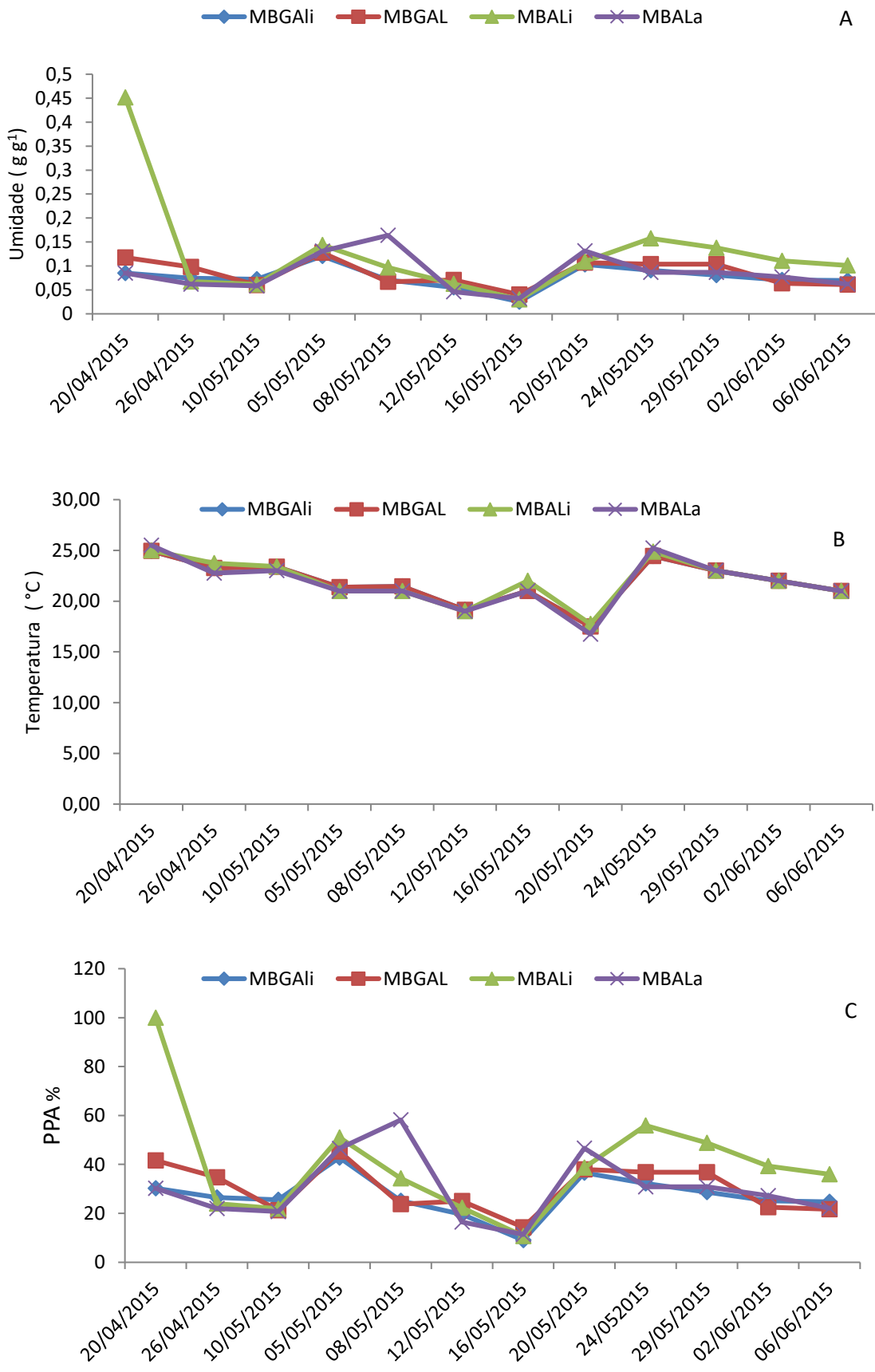


Figura 14. Umidade (g g⁻¹), Temperatura (°C) e PPA % para as coletas de 2015.

6.CONCLUSÃO

O Cultivo de feijão-guandu em consórcio com milho e braquiária para produção de silagem possibilita maior quantidade de matéria seca de braquiária por ocasião da dessecação do pasto residual para a implantação da safra seguinte.

O uso dessa leguminosa forrageira possibilita maiores estoques de C e N contidos na fitomassa de plantas vivas ou mortas, porém, não é suficiente para alterar o estoques desses elementos na camada de 0 a 40 cm do perfil do solo.

O maior estoque de C e N na fitomassa das plantas com o cultivo de feijão-guandu aumenta as emissões de CO₂ e N₂O para a atmosfera, porém, as emissões de GEE são mais influenciadas pelas condições de umidade e temperatura do solo.

7.REFERENCIAS

ADAMI, P.F.; PITTA, C.S.R. **Pastagem e bovinocultura de leite**. Curitiba: Instituto Federal do Paraná, 2012. 80p

AITA, C. GIACOMINI, S. J. Matéria orgânica do solo, nitrogênio e enxofre nos diversos sistemas de exploração agrícola. In: YAMADA, T.; STIPP E ABDALLA, S. R.; VITTI, G. C. Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira. Piracicaba, SP: **International Plant Nutrition Institute (INPI)**, 2007. Cap. 1, p. 1-41.

AITA, C.; BASSO, C.J.; CERETTA, C.A.; GONÇALVES, C.N. & DA RÓS, C.O. Plantas de cobertura de solo como fonte de N ao milho. **R. Bras. Ci. Solo**, 25:157-165, 2001.

ALCALDE, L. F. E. Mitigação das emissões de gases de efeito estufa por sistemas conservacionistas de manejo de solo. 2011. 118 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo), Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

ALVES, M. S.. Emissão de gases de efeito estufa e estoque de carbono no sistema solo-planta em função do sistema de produção e da aplicação superficial de corretivo da acidez. 2016. 75 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura), Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. 2016.

AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J. & FERNANDES, S.B.V. Leguminosas e adubação mineral como fontes de suprimento de nitrogênio ao milho em sistemas de preparo do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, 24:179-189, 2000.

ANDERSON-TEIXEIRA, C.J.; DAVIS, C.D.; MASTERS, M. D.; DELUCIA, E. H. Changes in soil carbon under biofuels crops. **Global Change Biology**, Oxford, v. 1, p. 75-96, 2009

ANGHINONI et al., 2013. Benefícios da integração lavoura-pecuária sobre a fertilidade do solo em sistema plantio direto. (em publicação).

BARDUCCI, R.S. et al. Produção de *Brachiaria brizantha* e *Panicum maximum* com milho e adubação nitrogenada. **Archivos de Zootecnia**, Córdoba, v.58, n.222, p.211-222, 2009.

BAYER, CIMÉLIO; GOMES, Juliana ; VIEIRA, Frederico Costa Beber ; ZANATTA, Josiléia Accordi ; de Cássia Piccolo, Marisa ; DIECKOW, Jeferson . Methane emission from soil under long-term no-till cropping systems. **Soil & Tillage Research**, v. 124, p. 1-7, 2012.

BAYER, Cimélio; ZANATTA, Josiléia Accordi ; VIEIRA, Frederico Costa Beber ; CONCEIÇÃO, Paulo César . Long-term soil management systems on total and labile

C and the role of physical protection on their accumulation in a subtropical **Acrisol**. In: **International Symposium on Organic Matter Dynamics in Agro-Ecosystems**, 2007, Poitiers. International Symposium on Organic Matter Dynamics in Agro-Ecosystems, 2007.

BAYER C, LOVATO T, DIECKOW J, ZANATTA JA, MIELNICZUK J. A method for estimating coefficients of soil organic matter dynamics based on long-term experiments. **Soil Till Res.** 2006;19:217-26.

BATEMAN, E. J.; BAGGS, E, M. Contributions of nitrification and denitrification to N₂O emissions from soils at different water-filled pore space. **Biology and Fertility of Soils**, Berlim, v. 41, n. 6, p. 379-388, 2005.

BODDEY et al., Carbon accumulation at depth in Ferrasols under zero-till subtropical agriculture. **Global Change Biology**, Urbana, v. 16, p. 784-795, 2010.

BOECKX P, VAN CLEEMPUT O, Villaralvo I. (1997). Methane oxidation in soils with different textures and land use. **Nutr Cycl Agroecosys** 49: 91–95.

BOENI, M. Proteção física da matéria orgânica em solos de Cerrado afetada pela pastagem. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007. 136p. (Tese de Doutorado).

BOWDEN, R.D.; STEUDLER, P.A. & MELILLO, J.M. Annual nitrous oxide fluxes from temperate forest soil in the Northeastern United State. **Journal Geophysical Research**, Weinheim, v. 95, p.13997-14005, 1990.

BRITISH COUNCIL. **Mercado de Carbono**. 2012. Disponível em: www.britishcouncil.org

CARVALHO, J.L.N. et al. Carbon sequestration in agricultural soils in the Cerrado region of the Brazilian Amazon. *Soil and Tillage Research*, v.103, n.2, p.342-349, 2009

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**, Viçosa, v. 34, p. 277-289, 2010.

CASTRO FILHO, C.; LOURENÇO, A.; GUIMARÃES, M.F.; FONSECA, I.C.B. Aggregate stability under different soil management systems in a red Latosol in the state of Parana, Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 65, p. 45-51, 2002.

CECCON, G.; RICHETTI, A.; SEREIA, R. C.; LUIZ NETO NETO, A.; FONSECA, I. C.; LEITE, L. F. Safrinha em SPD nas condições do Mato Grosso do Sul. **Granja**, Porto Alegre, RS, v. 753, p. 63-65, nov. 2011.

CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P. Sequestro de carbono em solos na América Latina. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.40-44, 2007.

CERRI, C.C. & CERRI, C.E.P. **Agricultura e aquecimento global**. B. Inf. SBSCS, v. 23, p;40-44, 2007.

CONCEIÇÃO PC, DIECKOW J, BAYER C. Combined role of no-tillage and cropping systems in soil carbon stocks and stabilization. **Soil Till Res.** 2013;129:40-7.

COSTA, F. S.; BAYER, Cimélio ; ZANATTA, J. A. ; MIELNICZUK, João . Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 323-332, 2008.

COSTA, N. R.; Andreotti, M. ; LOPES, K. S. M. ; YOKOBATAKE, K. L. A. ; FERREIRA, J. P. ; Pariz, C. M. ; BONINI, C. S. B. ; LONGHINI, V. Z. . Atributos do Solo e Acúmulo de Carbono na Integração Lavoura-Pecuária em Sistema Plantio Direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo (Online)**, v. 39, p. 852-863, 2015.

CONTE, O. Atributos físicos de solo e demanda de tração em semeadura direta de soja, com diferentes pressões de pastejo em sistema de integração lavoura-pecuária. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007. 91p. (Tese de Mestrado).

COTTON, W.R., PIELKE, R.A. Human impacts on weather and climate. Cambridge: **Cambridge University Press**, 1995. 288p.

CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R.P; BORGHI,E.; MATEUS, G.P. Benefits of integrating crops and tropical pastures as systems of production. **Better Crops International**, Atlanta, v. 94, n. 1, p. 14-16, 2010.

CRUTZEN, P.J., ASELMANN, I., AND SEILER, W., 1986. Methane production by domestic animals, wild ruminants, other herbivorous fauna, and humans. **Tellus** 38B: 271-284.

BROOKES, P. C. et al. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 20, p. 837-842, 1985.

DALAL, R.C.; WANG, W.; ROBERTSON, G.P. & PARTON, W.J. Nitrous oxide emission from Australian agricultural lands and mitigation options: A review. *Austr. J. Soil Res.*, 41:165-195, 2003.

DOBBIE, K. & SMITH, K. Nitrous oxide emissions factors for agricultural soil in Great Britain: The impact of soil waterfilled pore space and other controlling variables. **Global Change Biology**, Oxford, v. 9. p. 204-218, 2003.

DOBBIE, K. & SMITH, K. Comparison of CH₄ oxidation rates in woodland, arable and set aside soils. **Soil Biology and Biochemistry**. Volume 28, Issues 10–11, October–November 1996, Pages 1357–1365.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Pesquisa do Solo. **Manual de métodos de análises de solo**. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

EVANGELISTA, A. R.; RESENDE, P. M.; MACIEL, G. A. Uso da soja [*Glycine max (L.) Merrill*] na forma de forragem. **Lavras: UFLA**, 2003. 36p.

FORSTER, P., V. RAMASWAMY, P. ARTAXO, T. BERNTSEN, R. BETTS, D.W. FAHEY, J. HAYWOOD, J. LEAN, D. C. LOWE, G. MYHRE, J. NGANGA, R. PRINN, G. RAGA, M. SCHULZ AND R. VAN DORLAND. Changes in atmospheric constituents and in radioactive forcing. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Bases. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Avert, M. Ignorant H.L. Miller (eds)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2007

FRANCHINI, J.C.; DEBIASI, H.; WRUCK, F.J.; SKORUPA, L.A.; WINK, N.N.; GUISSOLPHI, I.J.; CAUMO, A.L.; HATORI, T. **Integração lavoura-pecuária: alternativa para diversificação e redução do impacto ambiental do sistema produtivo no Vale do Rio Xingu**. Londrina: Embrapa Soja, 2010. 20p. (Embrapa Soja. Circular técnica, 77).

GOMES, J. Emissão de gases do efeito estufa e mitigação do potencial de aquecimento global por sistemas conservacionistas de manejo do solo. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006, 126p. (Tese de Doutorado).

GONÇALVES, A. S. et al. Biomassa microbiana em amostras de solos secadas ao ar e reumedecidas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 5, p. 651-658, 2002.

HÜTSCH, B. W. Methane oxidation in non-flooded soils as affected by crop production—invited paper. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 14, p. 237–260, 2001.

ISLAM, K. R. & WEIL, R. R. Microwave irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. **Biology and Fertility of Soils**, v. 27, p. 408-416, 1998.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2007.

JACINTHE, P.A.; LAL, R. Labile carbon and methane uptake as affected by tillage intensity in a Mollisol. **Soil Tillage & Research**, Amsterdam, v.80, p.35-45, 2005.

JANZEN, H. H. Soil carbon: a measure of ecosystem response in a changing world? **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 85, p. 467-480, 2005.

JIANG, J.; HU, Z.; SUN, W.; HUANG, Y. Nitrous oxide emissions from Chinese cropland fertilized with a range of slow-release nitrogen compounds. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 166, p. 216-225, 2010

LAL, R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*, Amsterdam, v.123, n.1, p.1-22, 2004.

LA SCALA, N; LOPES, Afonso ; Spokas, K. ; Archer, D. ; Reicosky, D. C. . Short-term temporal changes of bare soil CO₂ fluxes after tillage described by first-order decay models. *European Journal of Soil Science (Print)*, v. 60, p. 258-264, 2009.

LA SCALA, N; BOLONHEZI, Denizart ; PEREIRA, G. T. . Short-term soil CO₂ emission after conventional and reduced tillage of a no-till sugar cane area in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 91, p. 244-248, 2006.

LENKA, N. K. et al. Soil aggregation, carbono build up and root zone soil moisture in degraded sloping lands under selected agroforestry based rehabilitation systems in eastern India. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v.150, p. 54-62, 2012.

LIU, L. and T.L. GREAVER. A review of nitrogen enrichment effects on three biogenic GHGs: the CO₂ sink may be largely offset by stimulated N₂O and CH₄ emissions. **Ecology Letters**. 2009, 12: 1103-1117

LUO, J.; TILLMAN, R.W.; BALL, P.R. Nitrogen losses through denitrification in a soil under pasture in New Zealand. **Soil Biol. Biochem.**, v.32, p.897-903, 2000.

MAAG, M.; VINTHER, F.P. Nitrous oxide emission by nitrification and denitrification in different soil types and at different soil moisture contents and temperatures. **Applied Soil Ecology**, v.4, p. 5-14, 1996.

MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. **Matéria orgânica do solo: Métodos de análises**. 1. ed. Viçosa-MG, UFV, 2005. 107p.

Miller, T.L. The ecology of methane production and hydrogen sinks in the rumen. In: Englehardt, W.V., Leonhard-Marek, S., Breves, G., Giesecke, D. (Eds.), *Ruminant Physiology: Digestion, Metabolism, Growth and Reproduction*. Ferdinand Enke Verlag, Berlin, pp . 317–331. 1995.

MOJEREMANE, W.; REES, R. M.; MENCUCCINI, M. The effects of site preparation practices on carbondioxidemethane andnitrous oxidefluxes from a peaty gley soil. **Forestry** v. 19, p. 1–15, 2011.

MORAES, A.; LESAMA, M. F.; ALVES, S. J. **Lavoura-pecuária em sistemas integrados na pequena propriedade**. In: Encontro latino americano sobre plantio direto na pequena propriedade, Pato Branco. Anais... Pato Branco: CEFET-PR, 1998. CD-ROM.

MORAES, A.; CARVALHO, P. C. F.; PELISSARI, A; ALVES, J. S.; LANG, C. R. Sistemas de integração lavoura-pecuária no Subtrópico da América do Sul: Exemplos do Sul do Brasil. In: SIMPOSIO INTERNACIONAL EM INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUARIA, 2007, Curitiba, PR. Anais. Curitiba, PR: Universidade Federal do Paraná; Universidade Federal do Rio Grande do Sul; Universidade do Estado de Ohio. 2007

MOSIER, A. R., SCHIMEL, D. S., VALENTINE, D. W., BRONSON, K. F., AND PARTON, W. J.: Methane and nitrous oxide fluxes in native, fertilized, and cultivated grasslands, **Nature**, 350, 330–332, 1991

NEVISON, C. D. & HOLLAND, E. A. A re-examination of the impact of anthropogenically fixed nitrogen on the atmospheric N₂O and the stratospheric O₃ layer. **Journal of Geophysical Research** 102: 25519-25536. 1997.

NICOLOSO, R.S.; LOVATO, T.; AMADO, T.J.C.; BAYER, C. & LANZANOVA, M.E. Balanço de carbono orgânico no solo sob integração lavoura-pecuária no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 32:2425-2433, 2008.

OGLE, S. M.; BREIDT, F.J.; PAUSTIAN, K. Agricultural management impacts on soil organic carbon storage under moist and dry climatic conditions of temperate and tropical regions. **Biogeochemistry**, v. 72, p. 87-121, 2005.

OLIVEIRA, P.; KLUTHCOUSKI, J.; FAVARIN, J.L.; SANTOS, D.C. Consórcio de milho com braquiária e guandu-anão em sistema de dessecação parcial. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n.10, p.1184-1192, 2011.

PARIZ, C.M.; ANDREOTTI, M.; TARSITANO, M.A.A.; BERGAMASCHINE, A.F.; BUZZETTI, S; CHIODEROLLI, C.A. Desempenhos técnicos e econômicos da consorciação de milho com forrageiras dos gêneros *Panicum* e *Brachiaria* em sistema de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.39, n.4, p.360-370, 2009.

PARIZ, CRISTIANO MAGALHÃES; ANDREOTTI, MARCELO ; AZENHA, MARIANA VIEIRA ; BERGAMASCHINE, ANTONIO FERNANDO ; MELLO, LUIZ MALCOLM MANO DE ; LIMA, RONALDO CINTRA . Produtividade de grãos de milho e massa seca de braquiárias em consórcio no sistema de integração lavoura-pecuária. **Ciência Rural** (UFMS. Impresso), v. 41, p. 875-882, 2011.

PES, L. Z. Fluxo de gases do efeito estufa em sistema de preparo de solo e rotação de culturas no planalto do Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado. Santa Maria, RS, Brasil 2009.

RIGON, J. P. G. Emissão de gases de efeito estufa em áreas de sistema semeadura direta com aportes diferenciados de carbono e nitrogênio. 2013. 98f. **Dissertação** (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu.

ROCHA, L. M.; CARVALHO, P. C. F.; BAGGIO, C.; ANGHINONI, A.; LOPES, M. L. T.; MACARI, S.; SILVA, J. L. S. Desempenho e características das carcaças de novilhos 11 superprecoce em pastos hibernais submetidos a intensidades de pastejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 10, Out. 2011

ROSOLEM, C.A.; SORATTO, R.P.; CRUSCIOL, C.A.C. Análise da situação geral. In: SORATTO, R.P.; ROSOLEM, C.A.; CRUSCIOL, C.A.C. (ed.). **Integração lavoura-pecuária-floresta: alguns exemplos no Brasil Central**. Botucatu: Editora FEPAF, 2011. p.103-104.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; OLIVEIRA, J.B.; COELHO, M.R.; LUMBRERAS, J.F.; CUNHA, T.J.F. (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

SALTON, J.C. Matéria orgânica e agregação do solo na rotação lavoura-pastagem em ambiente tropical. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005. 158p. (Tese de Doutorado).

SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J. ; BAYER, C. ; FABRÍCIO, A. C. ; MACEDO, M. C. M. ; BROCH, D. L. . Teor e dinâmica do carbono no solo em sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** (1977. Impressa), v. 46, p. 1349-1356, 2011.

SCHIAVO, J. A.; Rosset, J.S ; Pereira, M.G ; Salton, J.C . Índice de manejo de carbono e atributos químicos de Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** (1977. Impressa), v. 46, p. 1332-1338, 2011.

SILVA, H. A.; MORAES, A. de.; CARVALHO, P. F. C.; PONTES, L. S. Desempenho de novilhas leiteiras em pastagens anuais de inverno sob sistema de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 10, Out. 2011.

Silva, E. M. B.; Monteiro, F. A. Nitrogênio e enxofre na adubação e em folhas diagnósticas e raízes do capim-braquiária em degradação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, p.1641-1649, 2010.

SILVA, F.B.; TAFFAREL, L.E.; NERES, M.A.; OLIVEIRA, P.S.R.; NEUHAUS, E.; HEIZEN, E.L. Composição bromatológica da forragem produzida pelas associações do capim-piatã com feijão guandú cvs. Super N e Mandarin.In: **CONGRESSO NORDESTINO DE PRODUÇÃO ANIMAL**, 6, 2010, Mossoró. Anais... Mossoró: UFERSA, 2010.

SIQUEIRA NETO, M. et al. Emissão de gases do efeito estufa em diferentes usos da terra no bioma Cerrado. **Revista brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa – MG, v. 35, n.1, pp. 63-76, 2011.

SOUZA, E.D.; COSTA, S.E.V.G.A.; LIMA, C.V.S.; ANGHINONI, I.; MEURER, E.J. & CARVALHO, P.C.F. Carbono orgânico e fósforo microbiano em sistemas de integração agricultura-pecuária submetidos a diferentes intensidades de pastejo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:1273- 1282, 2008.

SOUZA, E. D.; COSTA, S.E.V.G.de A. ; ANGHINONI, I. ; LIMA,C.V.S. ; CARVALHO, P.C.F. ; Martins, A. P. . Biomassa microbiana do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** (Impresso), v. 34, p. 79-88, 2010.

STRECK, N.A. Climate change and agroecosystems: the effect of elevated CO₂ and temperature on crop growth, development, and yield. **Ciência Rural**, Ciência Rural, v. 35, n. 3, p. 730-740, 2005.

STRECK, E.V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R.S.D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P.C.; SCHNEIDER, P. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, EMATER/RS; UFRGS, 126p. 2002.

TOMAZI, Michely; MAGIERO, EMANUELLE CAVAZINI ; ASSMANN, JOICE MARI ; BAGATINI, TATIANE ; DIECKOW, Jeferson ; CARVALHO, PAULO CESAR DE FACCIO ; BAYER, Cimélio . Sheep Excreta as Source of Nitrous Oxide in Ryegrass Pasture in Southern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** (Impresso), v. 39, p. 1498-1506, 2015.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology & Biochemistry**, Elmsford, v. 6. p. 703-707, 1987.

VILELA, LOURIVAL; MARTHA JÚNIOR, GERALDO BUENO ; MACEDO, M.C.M. ; MARCHAO, R. L. ; GUIMARAES JUNIOR, R. ; PULROLNIK, K. ; MACIEL, G. A. . Sistemas de Integração Lavoura- Pecuária na região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** (1977. Impressa), v. 46, p. 1127-1138, 2011.