

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

Intensidade de emissão de gases de efeito estufa e potencial de aquecimento global em um sistema integrado de produção agropecuária no subtropical brasileiro

William de Souza Filho
Zootecnista (UFRA)
Mestre em Ciência Animal (UFPa)

Tese apresentada como requisito para obtenção do grau de doutor em
Zootecnia

Área de concentração Plantas Forrageiras

Porto Alegre (RS) Brasil
Março de 2017

CIP - Catalogação na Publicação

de Souza Filho, William
Intensidade de emissão de gases de efeito estufa
e potencial de aquecimento global em um sistema
integrado de produção agropecuária no subtropico
brasileiro / William de Souza Filho. -- 2017.
122 f.

Orientador: Paulo César de Faccio de Carvalho.
Coorientador: Cimélio Bayer.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa de
Pós-Graduação em Zootecnia, Porto Alegre, BR-RS, 2017.

1. Agricultura conservacionista. 2. Balanço de
Carbono. 3. Emissão de metano. I. César de Faccio de
Carvalho, Paulo, orient. II. Bayer, Cimélio,
coorient. III. Título.

WILLIAM DE SOUZA FILHO
Zootecnista e Mestre em Ciência Animal

TESE

Submetida como parte dos requisitos
para obtenção do Grau de

DOUTOR EM ZOOTECNIA

Programa de Pós-Graduação em Zootecnia
Faculdade de Agronomia
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre (RS), Brasil

Aprovada em: 31.03.2017
Pela Banca Examinadora

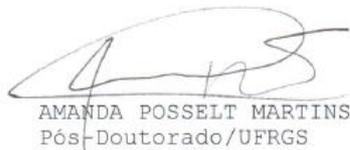


PAULO CÉSAR DE FACCIO CARVALHO
PPG Zootecnia/UFRGS
Orientador

Homologado em: 22.07.2017
Por



PAULO CÉSAR DE FACCIO CARVALHO
Coordenador do Programa de
Pós-Graduação em Zootecnia



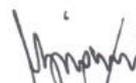
AMANDA POSSELT MARTINS
Pós-Doutorado/UFRGS

Teresa Cristina Moraes Genro
TERESA CRISTINA MORAES GENRO
EMBRAPA

Carolina Bremm
CAROLINA BREMM
PPG Zootecnia/UFRGS



FELIPE DE CAMPOS CARMONA
ULBRA - Canoas/RS



CARLOS ALBERTO BISSANI
Diretor da Faculdade de Agronomia

*Aos meus avôs Onédio e Urbano
que servem de inspiração e apoio,
dedico*

in memoriam

AGRADECIMENTOS

À Deus, por me guiar e proteger sempre.

À Faculdade de Agronomia da UFRGS.

À CAPES, pelo suporte financeiro para a realização deste trabalho.

Ao PPG Zootecnia da UFRGS, pela oportunidade de realização do curso, infraestrutura oferecida e conhecimento transmitido.

Ao professor Paulo Carvalho pela orientação, pelo exemplo de profissional e liderança e amizade.

A Fazenda do Espinilho, em nome do Sr. Francisco de Garcia e seus funcionários por todo apoio.

Aos meus pais que sempre me apoiaram, desde o início, incondicionalmente, para que eu pudesse realizar meus sonhos, meu grande exemplo, mesmo a distância, sempre presentes.

Aos meus irmãos, Bruno e Beatriz, pela amizade, companheirismo e inspiração.

A todos os amigos do GPEP, GPSIPA, da EMBRAPA CPPSUL, meu muito obrigado.

Aos meus amigos que a vida me trouxe e que foram fundamentais nos altos e baixos da vida, nos conselhos e em tudo, agradeço.

INTENSIDADE DE EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA E POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL EM UM SISTEMA INTEGRADO DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA NO SUBTRÓPICO BRASILEIRO¹

Autor: William de Souza Filho

Orientador: Paulo César de Faccio Carvalho

RESUMO - Os desafios da agricultura e da pecuária mundial no início do século XXI são complexos: garantir a produção de alimentos suficiente para alimentar uma população mundial crescente e, ao mesmo tempo, reduzir a pressão sobre o ecossistema diminuindo a degradação do solo, a perda de biodiversidade, e as emissões de gases responsáveis pelo efeito estufa. No Brasil, observa-se um forte crescimento na adoção dos sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA) com enfoques distintos e particulares em cada região do país. O subtropico brasileiro caracteriza-se por ser grande produtor de grãos, carne e leite, com utilização intensiva do solo. Diversos estudos apontam que os SIPA's além de intensificar o uso da terra e diversificar a produção, têm potencial para contribuir para a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE), por unidade de alimento produzido. Neste contexto, este trabalho tem como objetivo: (i) verificar como o manejo da altura do pasto determina diferentes estruturas e influenciam as emissões de GEE em SIPA; (ii) avaliar as emissões de GEE nos diferentes compartimentos do SIPA manejados sob diferentes alturas; (iii) avaliar o balanço global de carbono em SIPA. Para isso, um experimento foi conduzido durante os anos de 2013 e 2014, no estado do Rio Grande do Sul, Brasil, em um protocolo experimental de longo prazo iniciado em 2001. Os tratamentos foram arranjados em um delineamento de blocos completamente casualizados, com três repetições, e consistiram de diferentes alturas de pastejo por bovinos em pasto misto de azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam.) e aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb.): (P10) 10 cm, (P20) 20 cm, (P30) 30 cm, (P40) 40 cm e ausência de pastejo (SP). Os animais do tratamento (P10) apresentaram menor emissão diária em valores absolutos comparado aos outros tratamentos. O tratamento P20 apresentou menor valor de intensidade de emissão não diferindo de P30 e P40 ($P > 0,05$), com uma diferença cerca de 25% menor em relação ao tratamento P10. Em SIPA's, os resultados obtidos demonstram que as emissões provenientes dos animais, participam em até 15% do total emitido pelo sistema de produção, desmistificando o papel do animal como grande responsável pelo aquecimento global no setor agropecuário.

Palavras-chave: Agricultura conservacionista, bovinos, soja, balanço de C.

EMISSION INTENSITY OF GREENHOUSE GASES AND GLOBAL WARMING POTENTIAL IN AN INTEGRATED CROP LIVESTOCK SYSTEM IN THE BRAZILIAN SUBTROPIC¹

Author: William de Souza Filho

Advisor: Paulo César de Faccio Carvalho

ABSTRACT- The challenges of global agriculture and livestock at the beginning of the 21st century are complex: ensuring sufficient food production to feed a growing world population while reducing pressure on the ecosystem by reducing soil degradation, biodiversity loss and emissions responsible for greenhouse effect. In Brazil, there has been a strong growth in the adoption of integrated crop livestock system (ICLS) with distinct and particular approaches in each region of the country. The Brazilian subtropical is characterized by being a large producer of grains, meat and milk, with intensive use of the soil. Several studies point out that ICLS in addition to intensifying land use and diversifying production have the potential to contribute to the reduction of greenhouse gas (GHG) emissions per unit of feed produced. In this context, this work aims to: (i) To verify how the management of pasture height determines different structures and influences GHG emissions in ICLS; (ii) to evaluate GHG emissions in the different ICLS compartments operated under different heights; (iii) assess the overall carbon balance in SIPA. For this, an experiment was conducted during the years of 2013 and 2014, in the state of Rio Grande do Sul, Brazil, in a long-term experimental protocol initiated in 2001. The treatments were arranged in a completely randomized block design with three repetitions and consisted of different pasture heights grazing by steers on Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) and black oat (*Avena strigosa* Schreb.) mixed pastures: (P10) 10 cm, (P20) 20 cm, (P30) 30 cm and (P40) 40 cm and no grazing (NG). The treatment (P20) presented lower emission intensity daily emission in absolute values compared to the other treatments. The P20 treatment had a lower emission intensity value not differing from P30 and P40 ($P > 0.05$), with a difference about 25% lower than P10 treatment. In ICLS's, the results show that the emissions from the animals participate in up to 15% of the total emitted by the production system, demystifying the animal's role as the main responsible for global warming in the agricultural sector.

Keywords: Conservation agriculture, cattle, soybean, C balance.

¹Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Zootecnia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil (112p.). Março, 2017.

SUMARIO

1	CAPÍTULO I	
	Revisão geral	
1.1	INTRODUÇÃO GERAL	14
1.2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
1.2.1	Sistemas Integrados de Produção Agropecuária: Uma alternativa para intensificação sustentável	16
1.2.2	O papel dos sistemas integrados no balanço de Carbono	20
1.2.2.1	Escala global.....	20
1.2.2.2	Escala local	23
1.3	HIPÓTESES DE ESTUDO.....	30
1.4	OBJETIVOS	30
1.5	MODELO CONCEITUAL.....	31
2.	CAPÍTULO II	
2.1	INTRODUÇÃO	37
2.2	MATERIAIS E MÉTODOS	38
2.2.1	Local, animais e tratamentos	38
2.2.2	Avaliações no pasto	40
2.2.3	Avaliações do consumo dos animais em pastejo.....	40
2.2.3.1	Dosagem do n-alcano (C32) e coleta de fezes	40
2.2.3.2	Simulação de Pastejo.....	41
2.2.3.3	Análise dos alcanos e cromatografia gasosa	42
2.2.4	Estimativas da emissão de metano nos animais.....	43
2.2.5	Análise de dados.....	45
2.3	RESULTADOS	46
2.4	DISCUSSÃO	50
2.5	CONCLUSÕES	53
2.6	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53

3. CAPÍTULO III	
3.1 INTRODUÇÃO	63
3.2 MATERIAIS E MÉTODOS	64
3.2.1 Área de estudo e preparo da área experimental	64
3.2.2 Delineamento experimental.....	66
3.2.3 Metodologia aplicada a quantificação da coleta de GEE	67
3.2.4 Balanço de GEE do sistema	67
3.2.5 Análise de dados.....	69
3.3 RESULTADOS.....	70
3.4 DISCUSSÃO	74
3.5 CONCLUSÕES	77
3.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	78
3.7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	78
4 REFERENCIAS.....	83
5 APENDICE	100
6 VITA.....	122

RELAÇÃO DE TABELAS

CAPÍTULO II Intensidade de emissão de bovinos em sistemas integrados de produção agropecuária sob diferentes alturas de manejo do pasto

Tabela 1 Características produtivas do pasto de azevém anual e aveia-preta em diferentes alturas de manejo do pasto e sem pastejo (P10; P20; P30; P40 e SP), média de 10 anos de experimento (2001-2011) vs média anos experimentais 2013 e 2014 46

Tabela 2 Composição química do pasto azevém anual e aveia-preta em diferentes alturas de manejo do pasto e sem pastejo (P10; P20; P30; P40 e SP) 48

Tabela 3 Consumo sob diferentes estratégias de manejo do pasto, média dos anos experimentais 2013 e 2014 48

Tabela 4 Características produtiva dos animais e valores de emissão de CH₄ sob diferentes estratégias de manejo do pasto, média dos anos experimentais 2013 e 2014 49

CAPÍTULO III Potencial de aquecimento global em sistemas integrados de produção agropecuária sob diferentes intensidades de pastejo

Tabela 5 Estimativa dos custos em carbono equivalente (C-CO₂) com o manejo operacional do experimento 68

Tabela 6 Emissão por atividade de N₂O e CH₄ em sistemas integrados de produção agropecuária sob diferentes estratégias de manejo e sistema convencional sem pastejo 71

Tabela 7 Balanço global das emissões em sistema integrado de produção agropecuária e participações de cada atividade 72

Tabela 8 Intensidade de Emissão de GEE em relação a proteína total 73

RELAÇÃO DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1 Modelo idealizado do efeito estufa natural 21

Figura 2 Variação da relação C:N no compartimento planta-solo-animal em um ecossistema de pastagem..... 24

Figura 3 Modelo conceitual de emissões e consumo de GEE dentro de um SIPA..... 33

CAPÍTULO III

Figura 4 Temperatura do ar, precipitação e operações agrícolas realizadas durante o período experimental 2013/2014 e 2014/2015..... 65

Figura 5 Fluxo de CH₄ no solo em diferentes intensidades de pastejo e tratamento controle (SP) durante todo o período experimental..... 70

Figura 6 Fluxo de N₂O no solo em diferentes intensidades de pastejo e tratamento controle (SP) durante todo o período experimental..... 71

LISTA DE ABREVIATURAS

R	altura real
C	carbono
CA	carga animal
cm	centímetro(s)
g	grama(s)
GMD	ganho médio diário
GPV	ganho de peso vivo por área
ha	hectare(s)
K	potássio
IAF	índice de área foliar
kg	quilograma(s)
m	metro(s)
MF	massa de forragem
Mg	megagrama(s)
mm	milímetro(s)
N	nitrogênio
MS	matéria seca
P	fósforo
PTMS	produção total de matéria seca
PV	peso vivo
P10	10 centímetros
P20	20 centímetros
P30	30 centímetros
P40	40 centímetros
SIPA	sistema(s) integrado(s) de produção agropecuária
SP	sem pastejo
SPD	sistema de plantio direto
TxAc	taxa de acúmulo
UE	unidade experimental

1. CAPÍTULO I
Revisão Geral

1.1 INTRODUÇÃO GERAL

Nas últimas décadas, tem sido crescente o número de publicações indicando que o aquecimento do planeta é de certa forma incomum, quando se tem por referência à influência humana no meio ambiente, como observado com o advento da Revolução Industrial. Período atual que o prêmio Nobel de Química em 1955, Paul Crutzen, define como “Antropoceno”, onde a natureza humana influencia de forma tão impactante o planeta que podemos estar vivendo uma nova era geológica (Marcott et al.,2013).

O Brasil idealizado por Getúlio Vargas como o Celeiro do Mundo, hoje é uma realidade. O país emergiu como um grande produtor agrícola no cenário internacional possuindo diversas vantagens comparativas com outros países produtores (clima, solo, relevo). Tal reconhecimento decorre do seu dinamismo agrícola que tem sido um propulsor de sua economia nas últimas décadas.

Todavia, existe um conflito de informações no que diz respeito ao status da produção agropecuária no país. Tópicos relacionados ao ambiente de produção e qualidade do produto são constantemente questionados pelas agências de pesquisa internacionais, bem como, pelos consumidores gerando uma diversidade de opiniões no setor (Lobato et al., 2014).

Tilman et al. (2002) definiram a agricultura sustentável como o melhor manejo que atenda às necessidades atuais e futuras da sociedade em alimentos, fibras, serviços ecossistêmicos e uma vida saudável, onde o máximo benefício líquido para a sociedade é atingido quando todos os custos e benefícios das práticas para se chegar até ele são considerados.

Os Sistemas Integrados de Produção Agropecuária (SIPA's) têm retomado sua importância frente a sistemas de produção convencionais. A integração da pastagem com a lavoura pode incrementar os serviços ambientais, uma vez que, a agricultura conservacionista é potencializada pela diversidade e por fluxos de nutrientes únicos oriundos da presença do animal em pastejo (Carvalho et al., 2010).

Pesquisas apontam que, atualmente, a área com algum tipo de adoção de SIPA no Brasil abrange 11,5 milhões de hectares. Os estados que se destacam são Mato Grosso do Sul, com dois milhões de hectares; Mato Grosso, com 1,5 milhão; Rio Grande do Sul, 1,4 milhão de hectares e com maior número de propriedades participantes com cerca de 20% de adesão a integração em relação ao total de áreas sob uso agropecuário (EMBRAPA,2016).

Entretanto, apesar dos numerosos trabalhos que abordam questões relativas aos SIPA (Moraes et al., 2014), poucos são os que tratam dos efeitos da altura de manejo da pastagem no inverno em relação as emissões de gases

responsáveis pelo efeito estufa nesses sistemas. Além disso, o animal é tido como o vilão das emissões em relação a cadeia produtiva agropecuária (Moss et al., 2000; FAO,2013).

Diversos estudos demonstram que os sistemas integrados, como os de lavoura-pecuária, além de intensificar o uso da terra e diversificar a produção, têm potencial para contribuir para a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE), como dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O), por unidade de produto agropecuário (Garnett, 2011; Havlík et al., 2014; Lemaire et al., 2014).

Assim, se faz necessário entender os padrões de emissões de GEE dentro de um sistema de integração, através de um manejo contrastante para traçar divergências dentro do sistema e avaliar a interação entre os compartimentos solo-planta-animal-atmosfera com o objetivo de contribuir de maneira efetiva para a avaliação do potencial de mitigação de gases de efeito estufa desses sistemas.

Diante do exposto, propõe-se como temática de pesquisa o estudo da intensidade de emissão de gases de efeito estufa e potencial de aquecimento global em um sistema integrado de produção agropecuária no subtropical brasileiro.

1.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.2.1 Sistemas integrados de produção agropecuária: uma alternativa para a intensificação sustentável

De acordo com a Food and Agriculture Organization (FAO, 2010), há uma necessidade em aumentar a produção de alimentos e fibras para suprir a demanda de uma população crescente que ultrapassará 9 bilhões de pessoas em 2050. O principal caminho para atingir esse objetivo seria a intensificação da produtividade de áreas já utilizadas para produção agropecuária. Por esta razão, os impactos ambientais gerados pelos sistemas de produção de alimentos deverão ser reduzidos sistematicamente, de forma que a intensificação ocorra de forma sustentável.

Dessa forma, integrar os componentes agrícolas e pecuários tem aumentado sua participação no Brasil frente aos sistemas de produção mais especializados (agricultura e/ou pecuária). A agricultura é uma atividade de alto risco tendo como viés a vulnerabilidade a extremos climáticos, a grande especulação das commodities e elevados gastos com insumos, aumentando o risco do seu insucesso. A pecuária tradicional em áreas extensivas possui baixa conversão de proteína produzida por hectare com redução continuada das taxas de ganho sobre o capital investido e alta pressão ambiental e elevada demanda tecnológica.

Além disso, os ruminantes ocupam aproximadamente 80% do uso antrópico do solo (Stehfest et al., 2013) e consomem cerca de 35% das culturas agrícolas do mundo, competindo diretamente com a produção de alimentos (Foley et al., 2011). Nesse sentido, a gestão dos sistemas de produção animal é ponto importante na redução dos impactos ambientais e para a segurança alimentar do planeta.

Como consequências da especialização e dos ganhos em produtividade obtidos pode-se citar a contaminação dos cursos d'água e lençóis freáticos, concentrações crescentes de gases de efeito estufa atmosféricos, diminuição da qualidade dos solos e perda de biodiversidade (Franzluebbers et al., 2011). Segundo Lemaire et al. (2013), a ciência agrônômica precisa urgentemente superar a aparente contradição entre a necessidade de aumentar a produtividade dos sistemas agropecuários e, ao mesmo tempo, prevenir a degradação e promover a restauração do meio-ambiente.

Por isso, recentemente, os sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA) foi reconhecido como alternativa para intensificação sustentável (FAO, 2010). A “intensificação sustentável”, ou “intensificação

ecológica”, como também é chamada, tem como preceito o uso de mecanismos biológicos capazes de substituir intervenções químicas e físicas ou interagir positivamente com elas, exercendo o mesmo papel, mas sem custos externos, sobretudo ambientais (Doré et al., 2011).

Sistemas integrados podem promover oportunidades de capturar interações ecológicas, aumentando a eficiência na ciclagem de nutrientes e qualidade do solo, preservando os recursos naturais e o meio ambiente (Hoagland et al., 2010). Este acoplamento necessário entre produção agrícola e pecuária deverá ser definido em todos os níveis de organização: no campo, onde os processos biogeoquímicos estão operando; na fazenda, onde as decisões de manejo são tomadas; na paisagem, onde os processos dos ecossistemas e as interações entre os componentes de uso da terra ocorrem; e na região ou no continente, onde as restrições políticas e sócio- econômicas são as forças motrizes (Lemaire et al., 2013.).

O atual conceito de SIPA vai além da simples rotação ou sucessão da lavoura com o gado (Medeiros, 1978). Trata-se de uma coexistência harmoniosa, apoiada sobre uma série de princípios da agricultura conservacionista, que busca explorar sinergismos e propriedades emergentes provenientes da interação entre atmosfera, solo, planta e animal. Nestes sistemas, a integração da pastagem com a lavoura é capaz de incrementar os serviços ambientais de ambas as atividades, uma vez que a agricultura conservacionista é potencializada pela diversidade e pelos fluxos de nutrientes únicos oriundos da presença do animal em pastejo, resultando na mimetização de ecossistemas naturais (Moraes et al., 2014).

Circunscrito a este introito, a pecuária é vista com receio pelos produtores de grãos por possíveis efeitos negativos que os animais provocariam nas culturas de verão, por compactação superficial do solo e pela menor quantidade de resíduos depositados sobre a sua superfície ao término do período hibernar (Carvalho et al., 2011). Ao contrário do que se pensa grande parte dos produtores, diversos trabalhos demonstram que os SIPAs não acarretam em prejuízos ao produtor, quando feito o correto ajuste de carga animal (Moraes et al., 2014), seja nos aspectos econômicos e produtivos (Lunardi et al., 2008; Lopes et al., 2009; Martha Júnior et al., 2011; Martins et al., 2014a) ou nos atributos físicos (Conte et al., 2008; Moreira et al., 2012; Costa, 2014), químicos (Flores et al., 2008; Ferreira et al., 2009; Martins et al., 2014b), biológicos (Souza et al., 2010a; Chávez et al., 2011; Silva et al., 2011b) e de qualidade do solo (Nicoloso et al., 2008; Souza et al., 2010b; Assmann et al., 2014).

O solo, do ponto de vista da termodinâmica, é um sistema aberto, que troca energia e matéria com o ambiente. Nele, atuam processos dissipativos e de ordenação. Quanto mais matéria (resíduos) for adicionada ao solo, maiores serão os processos de ordenação que irão ocorrer no sistema, levando-o à auto-organização (Vezzani & Mielniczuk, 2009). Sendo assim, a matéria orgânica é um indicador de qualidade do solo, desempenhando papel fundamental na sustentabilidade dos sistemas produtivos (Boddey et al., 2010).

Nas últimas décadas, esses sistemas associados ao plantio direto (SPD), tem adquirido importância como um sistema de uso do solo inovador no Brasil, que melhora a produção de alimentos (grãos, leite e carne) e a renda econômica de agricultores. Experiências bem-sucedidas em SIPA também foram relatadas em climas subtropicais (Studdert et al., 1997; Russelle et al., 2007; Franzluebbbers e Stuedemann, 2008).

Segundo Anghinoni et al. (2011), o efeito benéfico dos sistemas SIPA em PD, com pastejo em intensidades moderadas, decorre da melhor relação entre massa de raízes e parte aérea acumuladas, pois ocorre mínimo revolvimento do solo e, portanto, pouca incorporação mecânica dos resíduos vegetais, diminuindo sua oxidação. Além disso, segundo os mesmos autores, o que contribui para o acúmulo de matéria orgânica no solo (MOS), em profundidade em sistemas integrados é o transporte de resíduos vegetais até superfície do solo pela macro e mesofauna do solo, que é superior em sistemas integrados em relação aos puros.

Assmann et al. (2014), em experimento de longa duração com diferentes intensidades de pastejo no sul do Brasil, obtiveram valores médios de resíduo de 1,40, 2,98, 4,74 e 5,80 Mg ha⁻¹ para as alturas de manejo do pasto de 10, 20, 30 e 40 cm, respectivamente, e 5,50 Mg ha⁻¹ em área sem pastejo após dez anos de sucessão entre pastagem de aveia-preta + azevém, no inverno, e soja, no verão, em um SIPA na Região do Planalto Médio do Rio Grande do Sul. Kunrath et al. (2015), na mesma área experimental, observaram valores próximos de resíduo (1,08, 2,90, 4,52, 5,61 e 8,00 Mg ha⁻¹) para as mesmas alturas de manejo do pasto, respectivamente.

Com isso, verifica-se que diferentes níveis de produção de resíduo (biomassa aérea e raízes) afetaram as adições de C e N ao solo, de modo que intensidades de pastejo moderadas a leves (i.e., 20, 30 e 40 cm de altura do pasto) resultaram em incrementos no C orgânico total, C orgânico particulado, N total e N orgânico particulado similares ao controle sem pastejo. Em situação de pastejo intenso (i.e., 10 cm de altura do pasto), ocorreu perda de N do sistema da ordem de 1,17 Mg ha⁻¹ devido à degradação da matéria orgânica do solo. Como resultado do menor resíduo depositado sobre a área, a adição de C

no anual no solo foi 35% menor para o tratamento P10 quando comparada às demais intensidades de pastejo P20; P30 e P40 (3,65 vs 4,18, 4,98 e 4,94 Mg ha⁻¹, respectivamente).

Decréscimos nos estoques de C e N do solo em pastagens submetidas a elevadas intensidades de pastejo por longo prazo foram relatados por uma série de pesquisadores (CUI et al., 2005; STEFFENS et al., 2008; HE et al., 2011).

Ciclos de cultivos de forrageiras nos SIPAs aumentam a quantidade de resíduos aportados ao plantio direto - PD e, em consequência, aumentam a MOS (Roscoe et al., 2006). O uso alternado ao longo do ano de lavoura e pecuária modifica o sistema solo, em virtude de o animal ser um catalisador dos processos que ocorrem no sistema (Anghinoni et al., 2013).

Assim, os SIPA, com intensidade moderada de pastejo, podem aumentar a MOS até níveis iguais (ou superiores) à vegetação nativa (Salton et al., 2011), pois o pastejo estimula o crescimento de raízes, comparativamente ao não pastejo de plantas forrageiras (Souza et al., 2009; Shi et al., 2013). O pastejo intenso, por sua vez, resulta em menores quantidades de resíduos aportados ao solo, o que também compromete o acúmulo de carbono ao solo (Assmann et al., 2014).

As pastagens desempenham importante papel nos SIPA, não só como fonte de forragem para a produção animal sustentável, mas também como prestadora de serviços ecossistêmicos essenciais, como a absorção dos impactos ambientais negativos resultantes da intensificação da agricultura (Lemaire et al., 2005). Moraes et al. (2014) apresentam um levantamento de diversos trabalhos realizados em SIPA na região sul do Brasil, que em sua grande maioria, obtiveram rendimentos das culturas anuais aumentados após a utilização de animais em pastejo.

O subtropico brasileiro caracteriza-se por ser grande produtor de grãos, carne e leite, com utilização intensiva do solo. Esta região abrange cerca de 16 milhões de hectares cultivados com lavouras anuais de verão, tais como soja (*Glycine max*), milho (*Zea mays*) e arroz (*Oriza sativa*). Considerando-se as principais culturas anuais de inverno, incluindo trigo (*Triticum aestivum*), aveia (*Avena sativa*), cevada (*Hordeum vulgare*), canola (*Brassica napus* L. var. Oleifera) e centeio (*Secale cereale*), a superfície cultivada com lavouras de inverno é de aproximadamente 3 milhões de hectares, o que representa cerca de 1/5 do total das áreas cultivadas com anuais de verão (CONAB, 2015).

Sendo assim, grande parte dessas terras permanece improdutiva ou subutilizada durante o período de inverno, em pousio ou destinadas

unicamente a plantas para cobertura do solo e acúmulo de resíduo e poderiam ser aproveitadas com a utilização de sistemas integrados de produção.

Não obstante, estes cultivos são compostos basicamente por aveia-preta (*Avena strigosa*) e azevém (*Lolium multiflorum*), materiais forrageiros de excelente valor nutricional. Isso ocorre justamente em um período no qual o gado sofre com a escassez alimentar em sistemas baseados em pastagens naturais ou cultivadas de verão (CARVALHO et al., 2005). Nesse contexto, não há justificativas para tal situação, visto que as culturas de grãos poderiam estar se beneficiando da rotação ou sucessão com a pastagem, aumentando a eficiência do uso da terra e dos investimentos e garantindo estabilidade produtiva através da diversificação e da renda adicional gerados pela presença do animal no sistema (MORAES et al., 2014).

Os SIPAs podem resultar em ganhos econômicos e ambientais, uma vez que a agricultura conservacionista é potencializada pela diversidade do sistema integrado. Esses sistemas estão entre as estratégias mundiais (Herrero et al., 2010) e nacionais (Gouvêlo, 2010) para produção de alimentos com baixa emissão de gases de efeito estufa.

A grande pergunta do novo milênio seria como tornar **produtivos** sistemas **sustentáveis**, embora pareça contraditório essas duas palavras na mesma frase, posto que, ao focar na eficiência do sistema como um todo se torna possível a quebra desse paradigma especialmente em um mundo de escassez e insegurança. Os agentes transformadores precisam deixar de se preocupar com bens e imediatismo e passar a mirar em recursos e futuro.

1.2.2 O papel dos sistemas integrados no balanço de Carbono

1.2.2.1 Escala global

Grandes problemas mundiais estão ocorrendo decorrente de impactos negativos provocados por ações humanas que desrespeitam a capacidade de suporte dos ambientes de pastagens. O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2007) apontou que as ações antrópicas vêm contribuindo com o aumento das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) na atmosfera e vêm intensificando, principalmente, os eventos climáticos extremos com sérios prejuízos à humanidade.

A atmosfera da Terra é composta basicamente por nitrogênio (78 %) e oxigênio (21%). Um terço da radiação solar que intercepta a atmosfera exterior é devolvida para o espaço. Os dois terços restantes passam através da

atmosfera e são absorvidos pela superfície da Terra e pela própria atmosfera. Em seguida, a superfície emite radiação de ondas longas de volta, sob a forma de raios infravermelhos. Uma grande quantidade de energia é absorvida e reemitida para a superfície da Terra (Figura 1). Este processo é conhecido como efeito estufa e, sem esse mecanismo, a temperatura seria abaixo do ponto de congelamento da água e a vida como conhecemos não existiria (Le Treut et al. 2007).

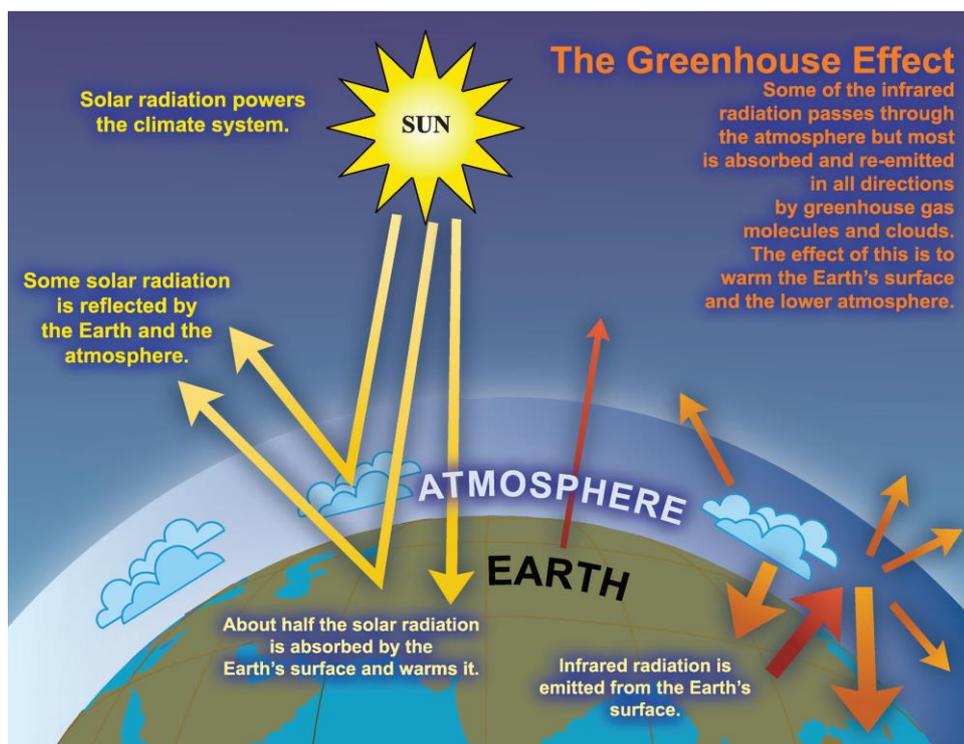


Figura 1: Modelo idealizado do efeito estufa natural (Le Treut et al. 2007)

As medições de alta precisão relacionadas à concentração do CO₂ atmosférico, iniciada por Charles David Keeling em 1958, constituem a principal série cronológica que documenta a composição da atmosfera (Keeling, 1961, 1998). Estes dados têm participação marcante na pesquisa em mudanças climáticas como evidência do efeito das atividades humanas sobre a composição química da atmosfera terrestre.

Através da análise da composição do ar aprisionado nas geleiras da Groelândia, na Ártico, realizou-se uma comparação dos níveis de CO₂ com registros anteriores. As medidas iniciais demonstraram que os valores de CO₂ foram significativamente menores durante a última era glacial 10 mil anos antes do Holoceno (Delmas et al., 1980, Berner et al., 1980; Neftel et al, 1982). Até o ano de 1750, os valores flutuaram ao redor de 280 ± 20 ppm (Indermühle et al.,

1999). Durante a era industrial, os valores cresceram exponencialmente aos níveis de 367 ppm (Neftel et al., 1985, Etheridge et al., 1996, IPCC, 2001) e 379 ppm em 2005. Desde 1970, medições atmosféricas diretas (Steele et al., 1996) também detectaram o aumento de outros dois principais gases responsáveis pelo efeito de estufa, o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O). A abundância de CH₄ estava aumentando a taxas anuais de 1% (Graedel e McRae, 1980, Fraser et al., 1981; Blake et al., 1982), mas depois diminuiu para um aumento médio de 0,4% ao ano a partir dos anos 90 (Dlugokencky et al., 1998) com possível estabilização.

O vapor de água e CO₂ são os mais importantes GEE, mas outros gases como o CH₄, N₂O, ozônio, hidrocarbonetos halogenados e aerossóis também podem aumentar a temperatura ambiente (Le Treut et al., 2007). Embora o vapor de água seja o principal GEE na atmosfera, ele é pouco afetado pelas atividades humanas (Forster et al., 2007), enquanto CO₂, CH₄ e N₂O são uma consequência das ações antropogênicas. Assim, estes três gases são considerados os mais importantes relacionados ao efeito estufa influenciado pelo homem.

As emissões de N₂O representam ~10% do total de GEE emitido na atmosfera, com potencial de aquecimento de 310kg CO₂-eq/kg de N₂O. Onde, 90% dessas emissões são derivadas da agricultura (Smith et al., 2007). Já o CH₄, com características de alta absorção de infravermelho, atinge potencial de aquecimento global estimado em 23kg CO₂-eq/kg de CH₄ (Ramaswamy et al., 2001). Nos últimos 300 anos a concentração de CH₄ na atmosfera aumentou em duas vezes e meia, isso em grande parte devida a produção pecuária, cultivo de arroz, decomposição de resíduos (aterros sanitários) e mineração de combustíveis fósseis, contribuindo para tornar o CH₄ o segundo gás, de origem antrópica, na escala do aquecimento global (Lassey, 2007). Os gases responsáveis pelo efeito estufa absorvem a radiação infravermelha e reemitem na forma de calor, o que é chamado potencial de aquecimento global (PAG). O PAG é uma característica específica de cada gás (Snyder et al., 2009), sendo designado em função do seu tempo de vida na atmosfera e avaliado em relação ao CO₂, uma vez que este é o GEE mais abundante. Portanto, considerando um horizonte de tempo de 100 anos, o CH₄ tem um tempo de vida de 12 anos e um PAG de 25 e o N₂O tem um tempo de vida de 114 anos, e um PAG de 298 (Forster et al., 2007).

No Brasil, a maioria das terras agricultáveis é ocupada por pastagens (~159 milhões de ha). O governo brasileiro projeta um crescimento médio na produção agrícola de 2,7% até 2019 (MAPA, 2014). Com isso, a taxa de intensificação do uso da terra vai determinar a necessidade de terras agrícolas

adicionais para apoiar este crescimento, especialmente no setor pecuário (rebanho bovino), que se baseia sobretudo no pastoreio das pastagens.

Nessas pastagens, o Brasil estabeleceu o maior rebanho bovino comercial do mundo (mais de 212,8 milhões de cabeças em 2011) e tornou-se o maior exportador mundial de carne bovina (IBGE, 2014). Dentro do Plano Brasileiro de Mitigação e Adaptação às Alterações Climáticas (Plano ABC), um dos principais compromissos é recuperar 15 milhões de ha de pastagens degradadas até 2020 e evitar a degradação de novas pastagens através do manejo adequado. Estima-se que este plano contribua para a redução das emissões de GEE de 36,1% para 38,9% até 2020 (Brasil, 2012), sendo o maior plano de ação em redução das emissões do Planeta.

Diversos estudos apontam que os SIPA, como os de lavoura-pecuária, além de intensificar o uso da terra e diversificar a produção, têm potencial para contribuir para a redução das emissões de GEE, como CO₂, CH₄ e N₂O, por unidade de produto agropecuário (Savian et al., 2014, Sá et al., 2016, de Figueredo et al., 2016).

O potencial de práticas agrícolas sustentáveis em neutralizar as emissões de GEE é estimado em 0,3 a 1,17 Pg C ano⁻¹ (Lam et al., 2013, Neufeldt et al., 2013, Neufeldt et al., 2015) e pode representar de 2,7 a 10,4% das emissões globais de GEE (Lal, 2004b; Houghton, 2014; Le Quéré et al., 2014 e 2015). Entre essas práticas de cultivo, a capacidade de sequestro do C em SIPA com o advento do PD tem sido muito utilizado para compensar as emissões e mitigar as alterações climáticas e isso tem gerado debates intensos (Powlson et al., 2014, Sommer e Bossio, 2014; Corbeels et al., 2016; Powlson et al., 2016; VandenBygaert, 2016).

Recentemente, os SIPAs foram identificados como um sistema eficiente de estratégia para restauração de pastagens degradadas, melhora no acúmulo de C no solo e mitigação de GEE (Carvalho et al., 2010; Cerri et al., 2007; Euclides et al., 2010; IPCC, 2014; Salton et al., 2014).

1.2.2.2 Escala local

O C e o N possuem uma estreita associação, onde ambos passam por ciclos de acoplamento e desacoplamento. Quando o N é absorvido pelas raízes é acoplado ao C em uma alta relação C/N. O desacoplamento ocorre na decomposição dos resíduos, pela redução da relação C/N, ao tornar-se mais próxima à dos microrganismos (Soussana & Lemaire, 2014). Os SIPAs, ao inserirem o animal no sistema, aumentam a ciclagem e reciclagem do N, por aumentarem os ciclos de acoplamento e desacoplamento. Essa maior

reciclagem de N irá proporcionar um uso mais eficiente desse nutriente. O pastejo irá aumentar o desacoplamento, visto que cerca de 80% do N excretado pelo animal retorna ao solo via urina, e apenas 20% permanece acoplado ao C que é excretado via fezes (Soussana & Lemaire, 2014).

A proporção C:N tende a aumentar linearmente até o final da fase de crescimento da planta. As razões C:N diminuem durante a decomposição subsequente do material senescente e adição de MOS. As razões C:N dos dejetos dos animais estão próximas desses valores. Durante a decomposição, os compartimentos com razões C:N elevadas liberarão principalmente CO₂ e imobilizarão N antes de liberar o N inorgânico por meio da mineralização (Figura 2). Em contraste, a mineralização de compostos com uma razão C:N baixa (i.e.,urina) libera principalmente N inorgânico e está associada a elevados riscos de perdas de N para o ambiente (Allard et al., 2007, Hartwig et al., 2000, Klumpp e Soussana, 2009, Lemaire et al., 2008, Maire et al., 2009; Personeni e Loiseau, 2005).

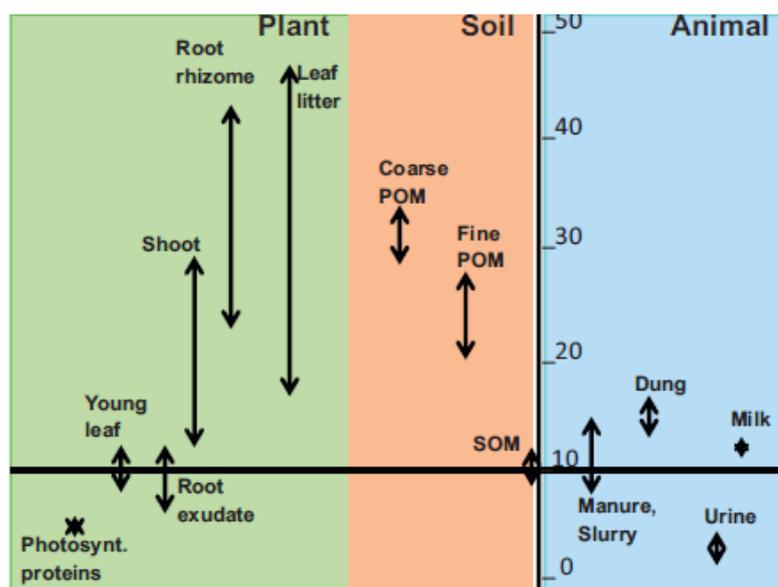


Figura 2. Variação da relação C:N no compartimento planta-solo-animal em um ecossistema de pastagem (Soussana & Lemaire, 2013).

Sob pastejo intensivo, até 60% da produção de matéria seca acima do solo é ingerida por herbívoros domésticos (Lemaire e Chapman, 1996). A maior parte do C ingerido é digestível e, portanto, é respirada logo após a ingestão. A parte não digestível (25-40% da ingestão de acordo com a digestibilidade do pasto) é devolvida à pastagem em forma de excretas, principalmente como fezes. Na maioria dos sistemas produtivos, a digestibilidade da pastagem tende a ser maximizada por práticas do manejo do pastejo e/ou uso de cultivares de

forragem de alta digestibilidade. Consequentemente, nesses sistemas o principal fator que modifica o C retornado ao solo pela excreta é a pressão de pastejo, que varia com a taxa de lotação (número médio de unidades de animais por unidade de área) (Soussana et al., 2004).

Os efeitos secundários do pastejo no ciclo do C de um pasto incluem: (i) o papel do retorno de excrementos que, em moderados níveis de intensidade de pastejo, poderiam favorecer o ciclo de nutrientes e aumentar a produção primária, especialmente em pastagens pobres em nutrientes (DeMazancourt et al. Al., 1998); (ii) o papel da intensidade e da frequência da desfolhação e do pisoteio pelos animais, que reduzem a área foliar e a capacidade de captura do CO₂ atmosférico.

Franzluebbers e Stuedemann (2008) observaram uma redução de 56% no estoque de C do solo após 12 anos de pastejo intensivo em relação ao leve. No entanto, outros estudos não observaram diferenças (Shrestha e Stahl, 2008; Cecagno, 2015) ou observaram aumento nos estoques de C no solo em áreas com pastejo intensivo (Schuman et al., 1999; Reeder e Schuman, 2002; Liebig et al., 2006). Schuman et al. (1999) observaram um aumento de 13% no estoque de C no solo ao utilizar pastejo intensivo em relação a área de exclusão.

As diferenças nos estoques de carbono observadas com a utilização de intensidades de pastejo devem-se a características intrínsecas de cada pastagem, como a composição da vegetação. As plantas C₄ quando pastejadas apresentam maior potencial em estocar carbono no solo que as plantas C₃, em virtude da maior relação raiz/parte aérea e liberação de exsudatos radiculares no solo (Reeder et al., 2004; McSherry e Ritchie, 2013).

As fontes e sumidouros biogênicos de CO₂ são frequentemente ignorados em modelos de emissão de GEE em nível local (propriedade) apesar de contribuírem para as alterações do CO₂ atmosférico. No entanto, algumas abordagens (Rotz et al., 2012) consideram mudanças na MOS e incluem o C assimilado no crescimento das culturas e posteriormente sendo emitido através do solo, plantas, animais e respiração microbiana. A diferença entre C assimilado e emitido define a mudança de C estocado e exportado através dos produtos animais e vegetais.

Para análises a longo prazo, o sequestro de C no solo é muitas vezes negligenciável sendo o C assimilado igual ao emitido mais armazenado. As alterações no armazenamento do C no solo ocorrem em curto prazo, principalmente quando há uma mudança no manejo da propriedade como a conversão de terras para cultivo de culturas em pastagens e vice-versa. Na sequência de uma alteração do manejo, o conteúdo de C no solo vai buscar um

novo equilíbrio. Apesar das alterações do C no solo serem difíceis de prever na escala de fazenda, modelos têm sido utilizados para prever o efeito do manejo na propriedade no sequestro de C (Del Grosso et al., 2002).

A concentração do CH₄ na atmosfera vem aumentando com o passar do tempo, passando de 700 ppb no início da revolução industrial a 1774 ppb em 2005 (Forster et al., 2007). A agricultura é responsável por aproximadamente 58% dos 598 Tg CH₄ emitidos anualmente, sendo que a pecuária contribui com 52% das emissões agrícolas de metano (Robertson, 2014).

A qualidade e a quantidade de alimento ingerido pelos animais são os principais precursores da emissão de CH₄. Quando se tem uma dieta de boa qualidade a perda de energia via CH₄ é diminuída, devido ao aumento na proporção de ácido propiônico e redução na concentração de ácido acético e ácido butírico. No entanto, quando o animal consome um alimento de baixa qualidade, a emissão de CH₄ aumenta pela maior proporção de ácido acético em relação ao ácido propiônico (Johnson & Johnson, 1995). O outro fator que influencia a emissão de metano é a quantidade de alimento consumido, ou seja, quanto maior o consumo, maior a emissão de CH₄ pelos ruminantes (Kurihara et al., 1999; Hammond et al., 2013).

De acordo com Moss et al. (2000), a formação de acetato e butirato promovem a produção de CH₄. Já a formação de propionato pode ser considerada como forma competitiva de utilização de H₂ no rúmen. É o caso dos carboidratos solúveis, que sofrem maiores taxas de degradação no rúmen que os estruturais (Moe & Tyrrell, 1979) e promovem a produção de ácido propiônico como produto final da fermentação. Além disso, a rápida fermentação dos carboidratos está associada com a diminuição do pH ruminal que torna o ambiente menos favorável a metanogênese, quando os valores de pH se encontram entre 6,0 e 6,4 (Johnson & Johnson, 1995; Lee et al., 2000; Moss et al., 2000; Jarvis et al., 2000). Dietas baseadas em forragens que proporcionam baixo pH ruminal, resultam em queda nas taxas de metanogênese independente da formação de propionato (Moss et al., 2002).

Segundo Johnson e Johnson (1995), os ruminantes gastam entre 2 e 12% de energia consumida na emissão de CH₄ (Y_m). Os elevados valores de Y_m que caracterizam alto custo com energia estão associados com consumo de forragem de alto teor de fibra solúvel em detergente neutro (FDN) (Blaxter e Clapperton, 1965). A situação de baixo custo energético, em torno de 2%, geralmente está associada a animais consumindo dietas com alta concentração de energia, onde a quantidade de grãos pode ser superior a 80%. Esta condição é frequentemente observada em situações de confinamento ou suplementação à campo.

A contribuição dos sistemas integrados para a emissão de GEE está relacionada diretamente com o manejo adotado no sistema de produção como um todo, sendo que há uma maior contribuição por parte dos bovinos nas emissões de CH₄, proveniente do processo entérico digestivo (IPCC, 2007). Com relação à produção de N₂O nesses sistemas, pode ocorrer um aumento na taxa de emissão com a deposição da urina no solo pelos animais, e após a adubação com N mineral nas pastagens, estimulando com isso a atividade microbiana produtora de N₂O (Williams et al., 1999). Entretanto, esses sistemas normalmente resultam em melhorias nas propriedades químicas do solo, sendo recomendado para manter e incrementar os teores de carbono (Franzluebbers & Stuedemann, 2008), além do desenvolvimento das comunidades microbianas, podendo consequentemente contrabalancear os efeitos da emissão de CH₄ e N₂O.

Bovinos de corte excretam cerca de 90 a 95% do N que consomem (Whitehead, 2000). No esterco, o N encontra-se principalmente na forma orgânica e necessita ser mineralizado para estar disponível. Já na urina, cerca de 70% do N está na forma de ureia, e quando em contato com o solo é rapidamente hidrolisado (Vallis et al., 1982) e transformado em amônio. A disponibilidade de grandes quantidades de N em uma pequena área excede a necessidade de N da planta, o que pode levar a perdas de N através de emissões gasosas (de Klein et al., 2003; Luo et al., 2008).

Estudos recentes desenvolvidos no Brasil têm indicado que os fatores de emissão de N₂O para esterco e urina de bovinos são menores que o valor de 2% indicado pelo IPCC. Os fatores de emissão para urina variam de 0,2 a 1,2% e para esterco de 0,10 a 0,15% (Barneze et al., 2014; Lessa et al., 2014; Sordi et al., 2014). Em SIPA, a entrada de N é feita através da aplicação de fertilizantes para culturas ou pastagens, fixação biológica de legumes e deposição de excrementos dos animais (urina e esterco).

As emissões de N₂O no solo podem ocorrer através da aplicação de fertilizantes nitrogenados ou mineralização da MOS, sendo associado ao processo de nitrificação (onde a oxidação do NH₄⁺ para NO₃⁻ por bactérias quimioautotróficas podem produzir N₂O), e desnitrificação (redução biológica do NO₃⁻ para NO₂⁻ e N₂O, NO e N₂, por bactérias dos gêneros *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Clostridium*, *Bacillus*). Na presença de redutores orgânicos e disponibilidade de NO₃⁻ ou NO₂⁻ e restrição de O₂, tais bactérias produzem N₂O, sendo esse processo mais intenso logo após a adubação nitrogenada (Dalal et al., 2003).

Em solos de pastagem, a desnitrificação é considerada a principal fonte de N₂O (Saggar et al., 2013). A desnitrificação é realizada por bactérias

heterotróficas anaeróbicas facultativas, que são capazes de utilizar o nitrato (NO_3^-) na respiração como aceptor final de elétrons (Wrage et al., 2001). Logo, a desnitrificação consiste na redução de NO_3^- a N_2 apresentando o N_2O como um produto intermediário.

As emissões do N_2O geralmente aumentam com a presença de animais em áreas de pastagem, principalmente pela deposição de urina e esterco durante o pastejo. O IPCC estima que 2% do N presente nas dejeções de bovinos é emitido na forma de N_2O . No entanto, estudos realizados no Brasil têm indicado que as emissões de N_2O oriundas das excreções de bovinos são inferiores ao estimado pelo IPCC (Barneze et al., 2014; Lessa et al., 2014; Sordi et al., 2014). Além disso, é importante destacar que esta estimativa não distingue a contribuição da urina e do esterco nas emissões de N_2O e considera o manejo extensivo de bovinos em pastagem (pior cenário), que não caracteriza a pecuária Sul brasileira.

Em relação aos dejetos de animais, Yamulki e Jarvis (1997) verificaram emissão de N_2O em média $0,77 \text{ kg } \text{N}_2\text{O} - \text{N } \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ em pastagens de clima temperado, sendo a urina o principal causador ($0,61 \text{ kg } \text{N}_2\text{O} - \text{N } \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$). Da mesma forma, solos sob pastagens também podem ser fonte de emissão de CH_4 , principalmente quando sua saturação por água cria condições anaeróbias favoráveis para metanogênese (Saggar et al., 2007). No entanto, a maioria dos solos destinados à pecuária na região tropical e subtropical do Brasil são Latossolos e funcionam como dreno porque permanecem em condições aeróbias que favorecem a oxidação CH_4 a CO_2 por organismos metanotróficos (Saggar et al., 2007).

Em solos agrícolas, a adubação nitrogenada tem influência na diminuição da oxidação do CH_4 no solo. O amônio proveniente da adubação atua como inibidor da oxidação de CH_4 do solo, sendo que essa inibição ocorre pela competição do NH_4^+ com o CH_4 , pela enzima mono-oxigenase (Boeckx et al., 1997). Além disso, através da adubação nitrogenada, ocorre um efeito indireto e em longo prazo, que é o da acidificação do solo, que faz exceder o intervalo ótimo de pH para o estabelecimento da população metanotrófica (Hüstch, 1998).

Del Prado et al., (2013) compilaram dados de 3 estudos para avaliar a contribuição relativa de diferentes fontes para emissão total de GEE e concluíram que em propriedades pecuárias, a emissão entérica dos animais é a principal fonte. Foley et al., (2011) obtiveram os menores valores de emissão entérica, o que pode ser justificado pelos altos níveis de fertilizantes nitrogenados empregados os quais aumentaram consideravelmente as

emissões de N_2O no solo, ultrapassando as emissões provenientes dos animais.

Os impactos do uso do solo e do manejo dos sistemas na mitigação ou contribuição do Potencial de Aquecimento Global (PAG) podem ser medidos pela abordagem líquida nas emissões de GEE, após quantificar os valores de N_2O e CH_4 e as mudanças nos estoques de C orgânico no solo, o que representa o balanço líquido de CO_2 (Robertson e Grace., 2004). Abordagens para o cálculo das emissões líquida de GEE foram adotados para avaliar o preparo do solo (Robertson et al, 2000; Six et al., 2004), o uso do solo (Mosier et al., 2005) e sistemas de produção de bioenergia (Robertson et al, 2011), baseando-se no balanço entre o que foi emitido e mitigado de gases de efeito estufa e, eventualmente, os custos das práticas agrônômicas (Lal, 2004a). A avaliação pode ser refinada usando a abordagem de intensidade de GEE (Mosier et al., 2006), onde a emissão de GEE líquido é dividida pelo rendimento da cultura do sistema, expressando a emissão com base no rendimento da cultura e não da área destinada ao cultivo.

O manejo ideal de solos de pastagens é aquele que associa produção com a menor emissão de GEE e manutenção ou aumento no estoque de carbono no solo. A contribuição de cada fator envolvido no cálculo do PAG varia de acordo com o manejo utilizado na pastagem. O sequestro de carbono no solo tem sido apontado como o principal fator que contribui para o PAG ser negativo. No entanto, a emissão de metano entérico dos animais é um dos principais fatores que promove um contrabalanço no sequestro de C do solo (Robertson et al., 2000). A emissão de metano entérico pode compensar de 12 a até 62% do sequestro de C do solo dependendo do manejo utilizado (Allard et al., 2007). Já o N_2O pode ser considerado o segundo principal fator que atua no aumento do valor do PAG, podendo apresentar um compensação de 2% no sequestro de C em manejo extensivo da pastagem (Allard et al., 2007) a até 32% em pastejo intenso. Avaliar a contribuição de cada fator envolvido no cálculo do PAG é importante no sentido de poder indicar qual fator tem maior impacto no potencial de aquecimento global do sistema e desenvolver medidas mitigatórias dentro da realidade de produção envolvida.

1.3 HIPÓTESES DE ESTUDO

- (1) Diferentes alturas de manejo do pasto em Sistemas Integrados de Produção Agropecuária (SIPA's) não altera as emissões de metano animal por unidade de produto;
- (2) A presença do animal através do pastejo não influencia no balanço global de carbono no sistema.

1.4 OBJETIVOS

Os objetivos gerais deste trabalho foram:

- (1) verificar como o manejo da altura do pasto determina diferentes estruturas e influenciam as emissões de GEE em SIPA
- (2) avaliar as emissões de GEE nos diferentes compartimentos do SIPA manejados sob diferentes alturas;
- (3) avaliar o potencial de aquecimento global em SIPA;

1.5 Modelo Conceitual

Modelos conceituais ajudam a compreender as intrincadas relações de processos existentes entre os diferentes compartimentos em SIPA que influenciam as emissões de gases responsáveis pelo efeito estufa. Todos os processos relacionados às emissões envolvem os ciclos de C e N em nível local.

O modelo conceitual proposto tem como espinha dorsal as relações de acoplamento de desacoplamento do C e N. O fluxo de energia e matéria dentro do sistema e o desbalanço dessas relações está intimamente ligado com o componente animal dentro do SIPA. Outros fatores que influenciam esse balanço são os *inputs* de fertilizantes, operações agrícolas e alterações na ciclagem dos nutrientes.

A Figura 3 ilustra um exemplo de diferentes componentes relacionados às entradas, saídas, fluxo de energia e matéria, emissões e consumo de GEE dentro de um SIPA. As intervenções antrópicas como manejo do pasto, adubação, tratamentos culturais, influenciam as emissões. De outro modo, diferentes estratégias de manejo alteram a estrutura do pasto diferenciando a oferta de forragem para os animais. A quantidade de biomassa aérea define o ganho por animal e o ganho por área, por afetar o consumo animal e a carga animal (Carvalho et al., 2005). A natureza, frequência e intensidade do distúrbio imposto altera o balanço de C dentro de sistemas pastoris.

Com a variação nas intensidades de pastejo dentro dos sistemas produtivos, ocorrem diferentes taxas de deposição de resíduos e dejetos, afetando o acúmulo de carbono orgânico no solo, que por sua vez afetará a sua agregação e a dinâmica do fluxo hídrico. O pisoteio animal, dependendo de sua intensidade, compacta o solo modificando sua estrutura. A maior deposição de resíduo, por sua vez, influencia a redistribuição da energia advinda do contato animal-solo.

Em relação ao compartimento animal que influencia o modelo, o consumo de matéria (forragem) altera a dinâmica na relação C:N através da intensidade de desfolha. A desfolha excessiva reduz a aérea foliar e o sistema radicular da planta, comprometendo a sua capacidade fotossintética e limitando a absorção de nutrientes no solo (Soussana e Lemaire, 2014). A menor quantidade de biomassa na superfície do solo pode indiretamente aumentar a temperatura e a evaporação no solo, que podem levar à decomposição da MOS. Além disso, a maior carga animal pode promover o aumento da densidade do solo e destruição dos agregados que protegem a MOS da decomposição microbiana (Steffens et al., 2008).

O animal influencia no balanço de GEE dentro do sistema emitindo CH₄. Em relação ao N, 70-80% é excretado no solo através da urina, e apenas 20-30% se mantém acoplado ao C no esterco animal (Soussana e Lemaire, 2014).

Em solos sob pastagem, a desnitrificação é considerada a principal fonte de N₂O (Saggar et al., 2013). A nitrificação é considerada um processo importante na produção de N₂O quando há deposição de esterco e urina dos animais em solos de pastagem (Koops et al., 1997). Vários estudos indicaram que a fertilização adequada juntamente com o retorno da “palha” pode aumentar o teor de C orgânico do solo (Mosier et al., 2006). No entanto, essas práticas também alteram as emissões de N₂O através do aumento da oferta de substratos nitrificadores de solo e denitrificadores, e o conseqüente aumento da atividade microbiana pode compensar os efeitos de sequestro de C orgânico no solo (Kumar et al., 2000).

A matéria orgânica tem grande importância na qualidade química, física e biológica do solo (Silva & Resck, 1997), constituindo-se num componente fundamental do potencial produtivo do solo. Possui participação fundamental na retenção de nutrientes e água e na agregação do solo, além de servir de substrato e contribuir para a manutenção da diversidade biológica do solo (Silva et al., 2004). Não obstante, influencia diretamente os fluxos de gases e líquidos no solo (Bayer & Mielniczuk, 2008), além de modificar sua estrutura (Conceição et al., 2005). Sua dinâmica é controlada pelo aporte de resíduos, tipo de solo e seu preparo, temperatura e umidade (Jastrow & Miller, 1997). No modelo apresentado, fica claro a relação entre diversos componentes do sistema alimentando os teores de MOS e aumentando a sustentabilidade.

O clima também possui influência na taxa de decomposição dos resíduos e na velocidade das reações químicas (Feltre, 2004). O clima também pode afetar os ganhos individuais, uma vez que as exigências de manutenção dos animais podem ser alteradas quando os fatores climáticos estão fora da zona de conforto dos animais. Portanto, o que o animal utilizaria para produzir carcaça é gasto para regulação térmica, alterando os ganhos individuais.

A energia utilizada no consumo de combustível, operações e aplicação de agroquímicos também podem produzir grandes quantidades de CO₂^{eq}, que devem ser considerados na estimativa de fontes de emissão (Mosier et al., 2006; Snyder et al., 2009), além dos distúrbios causados pelas máquinas que provocam a liberação desses gases.

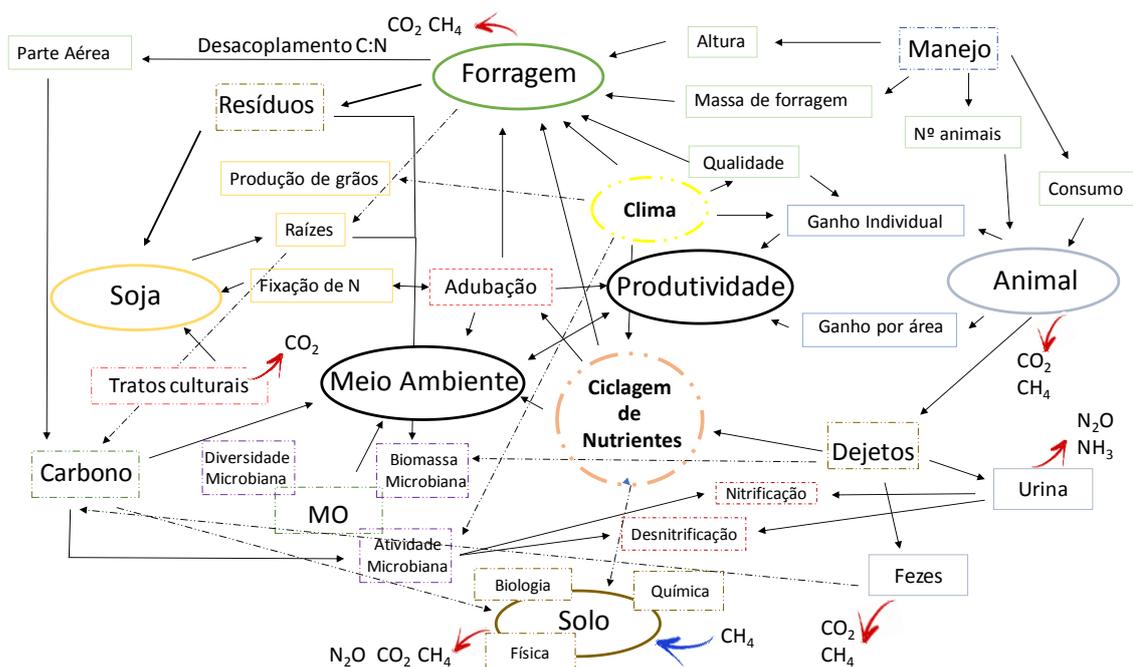


Figura 3. Modelo conceitual de emissões e consumo de GEE dentro de um SIPA.

A integração dos sistemas intensivos de ruminantes com sistemas de cultivo cria oportunidades para o reacoplamento do C e N. O C orgânico pode ser eficientemente reciclado quando ocorre contato do resíduo com a urina excretada pelos animais no solo. Em segundo lugar, o N orgânico pode ser transferido como adubos de pastagens para os sistemas de culturas na sequência do ciclo e isso pode reduzir significativamente as necessidades de fertilizantes minerais e formar um ambiente de produção mais sustentável.

Em SIPA, a oferta de nutrientes pode se tornar mais constante, uma vez que existem diferentes fontes em decomposição (matéria seca e dejetos), com diferentes velocidades e taxas de decomposição. A estratégia de manejo do ambiente de pastagens dentro dos sistemas integrados vai direcionar os fluxos de nutrientes e a mitigação ou aumento de GEE responsáveis pelo efeito estufa.

2. CAPÍTULO II

Intensidade de emissão de gases de efeito estufa em sistemas integrados de produção agropecuária em diferentes alturas de manejo do pasto¹

INTENSIDADE DE EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA EM SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA EM DIFERENTES ALTURAS DE MANEJO DO PASTO

Autor: William de Souza Filho

Orientador: Paulo César de Faccio Carvalho

RESUMO - Os sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA) tem sido identificado como uma atividade eficiente na recuperação de pastagens degradadas, aumento dos estoques de carbono no solo e mitigação da produção de GEE provenientes da produção animal. O presente estudo buscou investigar o efeito de diferentes alturas de manejo da forragem na intensidade de emissão de bovinos dentro de um sistema integrado de produção agropecuária. O experimento foi conduzido durante os anos de 2013 e 2014, no estado do Rio Grande do Sul, Brasil, em um protocolo experimental de longo prazo iniciado em 2001. Os tratamentos foram arranjos em um delineamento de blocos completamente casualizados com três repetições e consistiram em diferentes alturas de manejo (10, 20, 30 e 40 cm) que definem diferentes intensidades de pastejo. Os animais experimentais eram novilhos com peso médio de 246 kg e o pasto composto por azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam.) e aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb.). O tratamento P10 apresentou melhores resultados de qualidade da dieta, menores valores absolutos de emissão diária de CH₄, porém foi menos eficiente na produção de metano por hectare comparado aos outros tratamentos. O custo em EqCO₂ em kg para produzir 1 Kg de EqCarcaça foi de 10,99; 8,72; 9,14 e 8,88 para os tratamentos P10; P20; P30 e P40. As emissões para cada Kg de GMD foram menores (P20, P30 e P40) e a porcentagem de energia consumida que foi gasta na produção de CH₄ também acompanhou essa mesma resposta. Os resultados demonstraram que animais manejados em altura de 20 e 30 cm durante a fase pecuária em um SIPA reduziram em até 25% a produção de metano/kg de carcaça produzida.

Palavras-chave: Agricultura conservacionista, bovinos, soja, emissão de metano entérico.

EMISSION INTENSITY OF GREENHOUSE GASES FOR AN INTEGRATED CROP-LIVESTOCK SYSTEM UNDER DIFFERENT HEIGHTS OF PASTURE MANAGEMENT ¹

Author: William de Souza Filho

Advisor: Paulo César de Faccio Carvalho

ABSTRACT - Integrated Crop-Livestock Systems (ICLS) has been identified as an efficient activity in the recovery of degraded pastures, increase of carbon stocks in the soil and mitigation of GHG emission from animal production. The present study aimed to investigate the effect of different forage management heights on the emission intensity of cattle for an ICLS. The experiment was conducted during 2013 and 2014, in the state of Rio Grande do Sul, Brazil, in a long-term experimental protocol initiated in 2001. Treatments were arranged in a randomized complete block design with three replicates and consisted of different management heights (10,20,30 and 40 cm) that define different grazing intensities. The experimental animals were steers with a mean weight of 246 kg and the pasture is composed of Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) and black oat (*Avena strigosa* Schreb.). The treatment P10 presented better results of diet quality, lower absolute values of daily CH₄ emission but was less efficient in the production of methane per hectare compared to the other treatments. The cost in EqCO₂ in kg to produce 1 kg of EqCarcass was 10.99; 8.72; 9,14 and 8,88 for the treatments P10; P20; P30 e P40. The emissions for each kg of ADG were lower (P20, P30 and P40) and the percentage of energy consumed that was spent on CH₄ production also accompanied this same response. The results demonstrated that animals managed at height of 20 and 30 cm during the livestock phase in a ICLS reduced the production of methane/kg of carcass produced by up to 25%.

Keywords: Conservation agriculture, cattle, soybean, enteric methane emission.

¹Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Zootecnia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil (112p.). Março, 2017.

2.1 INTRODUÇÃO

A Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (Gerber et al., 2013) classificou o Brasil como o terceiro maior país emissor de gases responsáveis pelo efeito estufa (GEE) na agricultura para o ano de 2012, e um dos motivos é o aumento significativo da área utilizada para a agricultura nos últimos anos (Cederberg et al. 2009). No entanto, os levantamentos relacionados ao total das emissões feitos para países como o Brasil não consideram todas as particularidades e os processos que afetam tais estimativas.

O potencial de mitigação de gases responsáveis pelo efeito estufa (GEE) apenas com a adoção de boas práticas agrícolas é de 0,3 a 1,17 Pg C ano⁻¹ (Lam et al., 2013, Neufeldt et al., 2013, Neufeldt et al., 2015) e representa 2,7 a 10,4% das emissões globais de GEE (Lal, 2004; Houghton, 2014; Le Quéré et al., 2014 e 2015).

Recentemente, os sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA) tem sido identificado como uma atividade eficiente na recuperação de pastagens degradadas, aumento dos estoques de C no solo e mitigação da produção de GEE provenientes da produção animal (Cerri et al., 2007; Carvalho et al., 2010; Euclides et al., 2010; Carvalho et al., 2014; IPCC, 2014; Salton et al., 2014).

As variáveis mais comumente investigadas no contexto da emissão de CH₄ dos ruminantes abrangem os fatores nutricionais, como níveis de consumo, digestibilidade do alimento e características químicas da dieta (Jonhson & Jonhson, 1995; Pinares-Patiño et al., 2008). Raras são as inferências sobre os efeitos das características estruturais do pasto nas emissões de CH₄.

O tempo de pastejo sozinho não pode ser usado para determinar a ingestão de matéria seca ou a composição da dieta de animais em pastejo (Rutter, 2006). Mayes & Lamb (1984) sugeriram o uso de N-alcanos como marcadores indigestíveis para estimar a ingestão de matéria seca por serem inertes e de fácil análise.

As práticas que aumentam a produtividade de pecuária, da lavoura e pastagem têm recebido atenção significativa nos últimos anos, devido aos seus múltiplos benefícios de mitigação. Eles podem melhorar as intensidades de emissão de GEE de diferentes produtos pecuários, mas também podem ter benefícios indiretos associado a economia do uso da terra, podendo promover mudanças no setor pecuário (Herrero et al., 2016).

Alterações nas intensidades de pastejo, representadas pela manutenção de diferentes alturas da pastagem, resultam em diferentes estruturas e produtividade de forragem, que por sua vez influenciariam as emissões de GEE por unidade de produto animal produzida.

Dessa forma, o presente estudo buscou investigar o efeito de diferentes alturas de manejo do pasto na intensidade de emissão de bovinos dentro de um SIPA.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Local, animais e tratamento

O experimento vem sendo conduzido, desde 2001, em área pertencente à Fazenda do Espinilho, localizada no município de São Miguel das Missões - RS, região ecoclimática do Planalto Médio do RS. O solo é classificado como Latossolo Vermelho Distroférico, profundo, bem drenado, com coloração vermelho-escura e textura argilosa (54% de argila). A área vinha sendo cultivada em plantio direto desde 1993, com aveia preta (*Avena strigosa*) no outono-inverno e soja (*Glycine max*), na primavera-verão. No outono de 2001, após a colheita da soja, foi efetuada amostragem do solo para sua caracterização física e química. Assim, o experimento teve início em maio desse ano, com a implantação das espécies de inverno: aveia preta (100 kg sementes ha⁻¹) e adição do azevém (ressemeadura natural). A área total do experimento é de aproximadamente 22 hectares, a qual foi dividida em 12 parcelas, cujos tamanhos variam de 1,0 a 2,5 hectares e de áreas de referência sem pastejo perfazendo 0,2 hectares.

Os tratamentos constam de diferentes alturas de manejo do pasto: 10, 20, 30 e 40 cm; dispostos num delineamento experimental de blocos ao acaso, com três repetições, sendo a altura do pasto acompanhada a cada 14 dias, pelo uso do método *sward stick* (Barthram, 1985). As alturas de manejo do pasto são obtidas variando-se a carga animal, retirando-se ou colocando-se bovinos de corte em função da altura medida, estando esta abaixo ou acima, respectivamente, das alturas pretendidas (Mott & Lucas, 1952). Como testemunhas sem pastejo, utilizam-se áreas entre os blocos, onde o pastejo não é permitido. O método de pastejo adotado é o contínuo, com os animais entrando na área quando o pasto atinge um acúmulo médio de 1500 kg de MS ha⁻¹, e cerca de 20 cm de altura. Com isso o ciclo de pastejo é iniciado na primeira quinzena de julho, e se estende até a primeira quinzena de novembro. Após o ciclo de pastejo, entra a lavoura de soja no experimento que se estende até abril, geralmente.

A entrada dos animais na área experimental, no primeiro ano de avaliação (2013), ocorreu em 24 de junho, quando o pasto apresentava altura média de 21,6 ± 2,67 cm e massa de forragem (MF) de 1562 ± 196 kg de matéria seca (MS) ha⁻¹, totalizando 135 dias de pastejo. Foram utilizados novilhos com idade inicial média de 12 meses, castrados, cruza Angus, com peso vivo médio inicial de 256,6 ± 16,7 kg. No segundo ano de avaliação (2014) foram realizadas as mesmas avaliações de 2013. Porém, a entrada dos animais ocorreu no dia 03 de junho, quando o pasto apresentava altura média de 29,4 ± 2,77 cm e MF de 1857 ± 275 kg de MS ha⁻¹, totalizando 151 dias de pastejo. No segundo ano, o peso vivo médio inicial dos novilhos foi de 235,7 ± 23,8 kg, com idade média de 12 meses.

Foram avaliados o ganho médio diário individual (GMD – kg animal⁻¹(an)) e o ganho por área (Gha - kg de peso vivo (PV) ha⁻¹). O GMD foi calculado pela diferença do peso de entrada e saída dividido pelo número de dias que os animais permaneceram em pastejo e o Gha foi calculado pela média do GMD dos três animais teste multiplicada pelo número de animais-dia e pela área total do piquete. A carga animal (CA) do período de pastejo, também expressa em kg de PV ha⁻¹, foi calculada pela adição do peso médio

dos animais-teste com o peso médio de cada animal regulador, multiplicado pelo número de dias que esses permaneceram na pastagem, dividido pelo número total de dias de pastejo

2.2.2 Avaliações no pasto

Durante os dois anos experimentais, foram avaliadas a massa de forragem (kg de MS ha⁻¹), a taxa de acúmulo diário (TxAc, kg de MS ha⁻¹) e a produção total de forragem (PTMS, kg de MS ha⁻¹). A estimativa da MF foi realizada a cada 28 dias, utilizando-se a técnica de dupla amostragem (Wilm et al., 1944). Foram realizados cinco cortes aleatórios de pasto por unidade experimental (UE). Nesses mesmos locais, foram medidos cinco pontos de altura do pasto com o “*sward stick*”, para posterior ajuste da MF em função da altura real do pasto, por meio da equação de regressão ($y = b_0 + b_1x$), onde y correspondeu à massa de forragem e x à altura do pasto. A TxAc foi monitorada a cada 28 dias utilizando-se três gaiolas de exclusão ao pastejo por UE, empregando a técnica descrita por Klingman et al. (1943). A MF dentro e fora da gaiola foi obtida pela média dos cortes avaliados. Todos os cortes foram realizados em área de 0,25 m² e acima do mantilho. As amostras foram secas em estufa de circulação forçada de ar a 65°C, até peso constante. A PTMS foi estimada pelo somatório das produções dos sub-períodos (taxa de acúmulo x número de dias do sub-período), somada à MF do início do pastejo. No último período de amostragem, após a saída dos animais, realizou-se avaliação da MF residual (MFR em kg de MS ha⁻¹) nos diferentes tratamentos.

2.2.3 Avaliação do consumo dos animais em pastejo

2.2.3.1 Dosagem do n-alceno (C32) e coleta de fezes

As dosagens de n-alcenos e as coletas de fezes foram realizadas nos animais *testes* duas vezes ao dia. Foram realizadas duas coletas em 2013 (12/08 e 01/10) e 2 coletas em 2014 (18/08 e 29/09), os animais *testers* foram dosados com *pellets* contendo 200mg de dotriacontano (C32) por 10 dias

consecutivos. No quinto dia de dosagem de cada período, iniciou-se a coleta de fezes, aproximadamente às 8h da manhã e às 16h da tarde, estendendo-se até o décimo dia.

As amostras de fezes coletadas eram identificadas por animais, tratamentos e turnos e acondicionadas em potes plásticos e congeladas a -4°C . Posteriormente, as amostras foram descongeladas, homogeneizadas e retirada uma sub amostra por animal em cada coleta. Essas amostras foram colocadas em estufas de circulação de ar forçado a 60°C e mantidas até estarem completamente secas. Depois de secas, foram moídas em moinho tipo Willey em peneira de 1mm, identificadas e armazenadas para posterior análise de MS, MO e alcanos.

2.2.3.2 Simulação de pastejo

Para avaliar a concentração de n-alcano na pastagem, amostras de pasto foram coletas através de *hand plucking* segundo Johnson (1978), no segundo e terceiro dia de coleta de fezes. Foram coletados 500 g de amostra verde por animal *tester* avaliado.

Nessas amostras, foram realizadas análises dos teores de matéria seca (MS, g kg MS^{-1}), matéria orgânica (MO, g kg MS^{-1}), proteína bruta (PB, g kg MS^{-1}), fibra em detergente neutro (FDN, g kg MS^{-1}) e energia bruta (EB, MJ kg^{-1}).

As amostras foram analisadas pelo método NIRS (espectrometria de reflectância no infravermelho proximal), espectrômetro Perstorp analytical, Silver Spring, MD, modelo 5000, acoplado a um microcomputador equipado com software ISI versão 4.1 (Infrasoft International, University, Park, PA). A leitura foi realizada utilizando-se os comprimentos de onda de 1100 a 2500 nanômetros. As predições foram baseadas em um banco de dados de aproximadamente 3000 amostras com análises de laboratório e espectro NIRS com aparelho Foss NIRSystem realizadas pelo Instituto « The Walloon Agricultural Research Centre, Bélgica ».

Foi feita uma comparação através de teste T pareado entre os resultados obtidos no período experimental (2013/2014) e a base de dados de 10 anos (Kunrath, 2014) dentro de cada tratamento para as características produtivas de forragem.

2.2.3.3 Análises dos alcanos e cromatografia gasosa (CG)

A determinação dos alcanos presentes na forragem e nas fezes foi realizado segundo o protocolo descrito por Dove e Mayes (2006). Foram feitas duas avaliações em 2013 e duas avaliações em 2014 logo após as coletas de metano dos animais com o objetivo de relacionar as emissões obtidas com o consumo dos animais em pastejo.

A identificação e quantificação dos alcanos foi feita por CG usando cromatógrafo SHIMADZU GC-2010 equipado com detector de ionização de chama (FID), com carretel autosampler AOC-20S e com injetor autoinjector AOC-20i. Os alcanos extraídos foram injetados (1µl) para dentro de uma coluna Rtx®-5 RESTEK (30 m x 0,25 mm x 0,25 µm, absorvente composto por 5% difenil e 95% dimetil polisiloxane). O gás de arraste foi o He₂ a um fluxo constante de 30 ml/min. Gradientes de temperatura foram controlados para o injetor (270°C) e para a coluna (170°C por 1 min; 30°C/min até 215°C espera de 1 min e 6°C/min para 300°C; 21min). A temperatura do FID foi mantida a 340°C. O procedimento de GC foi calibrado com solução de padrão externo contendo uma mistura sintética dos alcanos C7 a C40 (>99% de pureza, Sigma-Aldrich Corp., St. Louis, MO, USA) com concentrações similares àquelas encontradas nos extratos. As áreas dos picos cromatográficos correspondentes a cada alcano foram determinadas por meio do software Shimadzu GC Solution, sendo que a identificação dos alcanos de comprimento de cadeia entre C20 a C37 foi baseada na comparação com o padrão externo, pelo tempo de retenção médio de cada alcano na coluna. Os picos identificados foram convertidos em quantidades de alcanos tomando como referência o padrão interno C34 e calculados em mg kg⁻¹ de MS de fezes e de forragem.

Cálculo do consumo e digestibilidade

Os consumos de matéria seca (CMS) foram estimados a partir das concentrações dos n-alcenos presentes naturalmente na forragem (C33) e o homólogo dosado via oral (C32), segundo equação de Dove e Mayes, (1991) adaptada Aguiar et al. (2013).

CMS = (Fecal C33/ (Fecal C32 - Forragem C32))*Valor dosado/(Forragem C33),

onde: CMS: consumo de matéria seca (kg dia⁻¹); Forragem C33: concentração na forragem do n-alceno natural C33 (mg/kg de MS); Forragem C32: concentração na forragem do n-alceno natural C32 (mg/kg de MS); Fecal C32: concentração fecal do n-alceno C32 (mg/kg de MS); Fecal C33: concentração fecal do n-alceno C33 (mg/kg de MS) Valor dosado: quantidade administrada diariamente (mg) do n-alceno C32 (mg). A digestibilidade das amostras (DMS) que simularam a forragem consumida pelos animais *testers* foi estimada a partir das concentrações dos n-alcenos presentes naturalmente na forragem (C33) e a concentração fecal (C33) segundo Dove e Mayes, (2005):

$$\mathbf{DMS = (1 - (ForragemC33/FecalC33))*100}$$

O consumo dos nutrientes como PB, FDN e FDA, foi obtido a partir da análise dos nutrientes multiplicado pelo consumo de matéria seca obtido para cada tratamento. Por exemplo, um tratamento que apresente 20% de proteína, entende-se 200g de proteína para cada Kg de pasto consumido. Se um animal consome 6 kg de MS desse pasto, ele consome 1.200 kg de proteína por dia.

2.2.4 Estimativas da emissão de metano dos animais

Para estudo das emissões de metano dos animais foram realizadas duas avaliações em 2013 e três avaliações em 2014, sempre uma semana após as avaliações de consumo. Foi utilizada a técnica do marcador hexafluoreto de enxofre (SF₆) descrita por Johnson et al. (1994) e adaptada por Gere e Gratton (2010). As adaptações consistem na substituição das

cangas coletoras por tubos de aço inoxidável, e os tubos capilares foram substituídos por reguladores de ingresso de ar.

As leituras das concentrações de CH₄ e de SF₆ foram realizadas em cromatógrafo a gás equipado com injetores acoplados a duas válvulas automatizadas, com detectores de ionização de chama (para a leitura de metano) e de captura de elétrons (para a leitura do SF₆), e com as colunas capilares Plot HP-AI/M e HP- MolSiv. As análises de concentração dos gases foram realizadas no Laboratório de Biogeoquímica Ambiental do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. As cápsulas de SF₆, colocadas no rúmen dos animais, apresentaram taxa de permeação média de 2.83 (± 0.41) mg dia⁻¹ em 2013 e 3.62 (± 0.43) mg dia⁻¹.

Na área experimental foram colocados três tubos “brancos” para coleta do ar atmosférico, no intuito de corrigir os valores dos gases de interesse existentes no ambiente. Desta maneira, foi possível descontar a concentração de metano presente no ambiente.

A partir das taxas conhecidas de liberação do traçador das concentrações de CH₄ e do traçador nas amostras de gás medidas, os fluxos de CH₄ liberado por animal foi calculado em relação ao fluxo de SF₆:

$$Q_{CH_4} = Q_{SF_6} * \frac{[CH_4] - [CH_4]_B}{[SF_6] - [SF_6]_B}$$

Onde:

Q_{CH₄} é a taxa de emissão de metano em g/dia;

Q_{SF₆} é a taxa de liberação do SF₆ do tubo de permeação;

[CH₄] e [SF₆] são as concentrações medidas no recipiente;

[CH₄]_B é a concentração de metano no ambiente;

[SF₆]_B é a concentração de hexafluoreto de enxofre no ambiente.

Para calcular o Rendimento de Energia na Produção de Metano (Y_m), percentual do gasto de energia bruta consumida que foi gasta pela metagênese Johnson and Johnson (1995), foi utilizada a seguinte fórmula:

$$Y_m = (EBCH_4/EBCMS)$$

onde: Y_m : é o percentual (%) do gasto de energia bruta consumida que foi usada na metanogênese; $EBCH_4$: Energia bruta gasta com a produção diária de metano em kg; $EBCMS$: Energia bruta consumida diariamente.

55.65 MJ/Kg: constante usada para transformar CH_4 em $EBCH_4$.

Intensidade de emissão

A intensidade de emissão foi calculada de acordo com a seguinte fórmula (Gerber et al., 2013):

$$IE = \frac{\text{Kg CO}_2^{\text{eq}}}{\text{Kg eq carcaça}}$$

Kg eq CO₂ Colocar por hectare

Onde,

$\text{Kg CO}_2^{\text{eq}}$: valor emitido para produzir 1 Kg de peso vivo em equivalente

$$\text{CO}_2 = \text{Emissão de CH}_4 \text{ animal} \times 25^1$$

¹ Fator de conversão CH_4 em CO_2^{eq}

²Foi utilizado para fator de conversão dados publicados por Lopes et al., (2008) obtidos no mesmo experimento, com valores de rendimento carcaça fria de 53%, portanto para cada Kg de PV animal produzido temos 0,530g de carcaça.

2.2.5 Análise de dados

Foram utilizados modelos lineares mistos para analisar o efeito dos tratamentos em relação as variáveis dependentes avaliadas. A estrutura de todos dos modelos usados foi selecionada baseada na razão da verossimilhança (verossimilhança restrita máxima para efeitos aleatórios e máxima verossimilhança para efeitos fixos). Os modelos foram testados através do *likelihood ratio test* e *Akaike Information Criterion* (AIC). Realizou-se todos os modelos baseados na distribuição homogênea Gauss satisfazendo a condição de normalidade dos residuais. Quando houve diferenças entre os tratamentos, foi realizado o teste de médias através de contrastes ortogonais.

Os dados foram analisados através do software R para computação estatística versão 2.12.0 (R Development Core Team, 2010).

2.3 RESULTADOS

As análises estatísticas demonstraram que não houve efeito de interação ano vs tratamento ($P > 0,05$) para dados das características produtivas do pasto, permitindo a análise conjunta dos dois anos experimentais. Entretanto, as alturas iniciais do pasto (entrada dos animais) diferiram entre os anos avaliados (2013 e 2014), com altura maior de entrada para o ano de 2014, adiantando o período de pastejo em aproximadamente 3 semanas.

A produção do pasto variou em relação aos tratamentos (Tabela 1). As alturas reais de manejo do pasto (AR) foram muito próximas às metas de manejo pré-estabelecidas (10, 20, 30 e 40 cm, $P < 0,05$). A MF acompanhou o comportamento da altura do pasto, e foi maior quanto menor a intensidade de pastejo utilizada ($P < 0,05$).

Observou-se diferença de até 20% de incremento na TxAc dos tratamentos onde houve pastejo em relação a base de dados, a exemplo o tratamento de 10 cm de altura de manejo do pasto ($P < 0,05$).

Tabela 1 Características produtivas do pasto de azevém anual e aveia-preta em diferentes alturas de manejo do pasto e sem pastejo (P10; P20; P30; P40 e SP), média de 10 anos de experimento (2001-2011) vs média anos experimentais 2013 e 2014.

Variável	Tratamentos									
	P10		P20		P30		P40		SP	
	10 anos	2013/ 2014	10 anos	2013/ 2014	10 anos	2013/ 2014	10 anos	2013/ 2014	10 anos	2013/ 2014
AR	12.1a	12.1aE	20.64a	21.0aD	30.9a	29.9aC	38.1a	38.3aB	43.78b	48.12aA
MF	1.37a	1.20aE	2.14a	2.31aD	2.96a	2.86aC	3.54a	3.68aB	3.15b	4.23aA
TxAC	41.4b	50.1aB	42.3b	49.5aBC	46.4a	48.9aC	50.5a	51.9aA	19.9b	35.9aD
PTMS	6.13b	8.31aB	6.54b	8.22aB	7.16b	8.16aB	7.56b	8.83aA	6.31a	6.77aC
Resíduo	1.50a	1.48aD	3.15b	3.60aC	4.56a	4.44aB	5.75a	5.46aA	5.60a	5.48aA

AR, altura real média do pasto (cm); MF, massa de forragem média do período ($\text{Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$); TxAc, taxa de acúmulo média do período ($\text{kg MS ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$); PTMS, produção total de matéria seca ($\text{Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$); Resíduo, resíduo sobre o solo ao final do ciclo de pastejo ($\text{Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$); ¹Média de dados 10 anos de experimento (Kunrath, 2014).

Letras minúsculas distintas diferem na linha pelo teste T ($\alpha=0,05$); comparação dentro de tratamento entre a base de dados e os anos experimentais avaliados.

Letras maiúsculas distintas diferem na linha pelo teste Contrastes Ortogonais ($\alpha=0,05$); comparação entre tratamentos (média de 2 anos).

Em relação a comparação com a base de dados, as variáveis que apresentaram maiores diferenças foram TxAc e PTMS. A variável PTMS apresentou maior diferença no tratamento P10 com superioridade de 35% em relação a base de dados, os outros tratamentos acompanharam essa tendência em menor magnitude ($P<0,05$).

Observou-se um aumento significativo ($P<0,05$) de resíduo deixado para a lavoura subsequente apenas para o tratamento (P20) ao comparar a base de dados (aproximadamente 15%).

No que diz respeito aos dados analisados comparando a diferença dos tratamentos dentro do período experimental avaliado (2013/2014), as variáveis TxAc e PTMS apresentaram maiores valores para o tratamento P40, enquanto menores valores foram encontrados para o tratamento (SP).

Observou-se incremento positivo para o resíduo depositado sobre o solo nos tratamentos pastejados conforme o aumento da altura de manejo do pasto (menor intensidade de pastejo). O tratamento (SP) apresentou valores semelhantes ao tratamento P40 para essa variável ($P<0,05$). O resíduo variou de 1,94 a 5,94 e 1,02 a 5,30 $\text{Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para os anos de 2013 e 2014, respectivamente.

A composição química do pasto obtida através da simulação do pastejo dos animais é apresentada na Tabela 2. Os resultados obtidos demonstram que houve uma diferença qualitativa para o tratamento P10 com menores valores de FDN, FDA e maior valor de digestibilidade da MS ($P<0,05$). O tratamento de intensidade de pastejo moderada P20 e o tratamento de intensidade mais intensa P10 apresentou entre 15-20% de superioridade em relação ao tratamento de intensidade leve P40 para quantidade de proteína, $\text{g kg}^{-1} \text{ MS}$ ($P<0,05$).

Tabela 2 Composição química do pasto azevém anual e aveia-preta em diferentes alturas de manejo do pasto e sem pastejo (P10; P20; P30; P40 e SP).

Composição Química	Tratamento				P value
	Variável	10	20	30	
Proteína, g kg ⁻¹ MS	218 ± 7.9 a	212 ± 8.1 ab	203 ± 9.3 bc	183 ± 10.2 c	<0.01
FDN, g kg ⁻¹ MS	463 ± 9.9 c	474 ± 10.2 cb	481 ± 9.6 b	506 ± 13.1 a	<0.01
FDA, g kg ⁻¹ MS	235 ± 5.6 c	249 ± 6.2 b	255 ± 7.1 b	268 ± 7.8 a	<0.01
Digestibilidade da MS, g kg ⁻¹ MS	674 ± 6.8 a	638 ± 6.2 b	630 ± 6.7 b	624 ± 6.8 b	<0.01

FDN, fibra insolúvel em detergente neutro; FDA, fibra insolúvel em detergente ácido.

Letras minúsculas distintas diferem na linha pelo teste Contrastes Ortogonais ($\alpha=0,05$); comparação entre tratamentos (média de 2 anos).

* 4 coletas de simulação de pastejo, 48 observações. Média ± erro padrão da média.

Animais dos tratamentos (P10), apresentaram menor CMS, CMS %PV e CPB (Tabela 3) comparado aos tratamentos (P20, P30 e P40). Para a variável CMS, kg d⁻¹, os animais do tratamento onde o pasto foi manejado em alturas menores (P10), consumiram 22% menos em relação ao tratamento (P30). Devido ao menor valor de FDN encontrado na forragem e menor CMS para tratamento P10, houve menor CFDN em relação aos outros tratamentos avaliados com redução de até 30% ($P<0,05$).

Tabela 3 Consumo sob diferentes estratégias de manejo do pasto, média dos anos experimentais 2013 e 2014.

Parâmetro	Tratamento				Pvalue
	10	20	30	40	
CMS, Kg d ⁻¹	6.00 ± 0.2 b	6.89 ± 0.2 a	7.34 ± 0.2 a	7.28 ± 0.2 a	<0.01
CMS, %PV	1.87 ± 0.05 b	2.05 ± 0.05 a	2.14 ± 0.05 a	2.16 ± 0.06 a	<0.01
CPB, Kg dia ⁻¹	1.26 ± 0.04 b	1.44 ± 0.05 a	1.52 ± 0.05 a	1.45 ± 0.06 a	<0.01
CFDN, Kg dia ⁻¹	2.78 ± 0.08 c	3.26 ± 0.09 b	3.53 ± 0.10 a	3.69 ± 0.11 a	<0.01

CMS, consumo de matéria seca; CMS,%PV, consumo de matéria seca em porcentagem do peso vivo animal; CPB, consumo de proteína bruta; CFDN, consumo de FDN.

Letras minúsculas distintas diferem na linha pelo teste Contrastes Ortogonais ($\alpha=0,05$); comparação entre tratamentos (média de 2 anos).

* 4 campanhas de consumo. Número de observações = 144. Média ± erro padrão da média.

A Tabela 4 apresenta os dados relacionados ao desempenho dos animais e os valores de emissão de CH₄. Observa-se menor GMD para o

tratamento (P10) em relação aos outros tratamentos. A CA foi maior quanto maior a altura em que o pasto foi manejado, variando de 519 a 1509 kg de PV ha⁻¹ (média de 2 anos experimentais).

Tabela 4 Características produtiva dos animais e valores de emissão de CH₄ sob diferentes estratégias de manejo do pasto, média dos anos experimentais 2013 e 2014.

Parâmetro	Tratamento				Pvalue
	10	20	30	40	
GMD, kg	0.814 ± 0.01 b	1.088 ± 0.01 a	1.117 ± 0.01 a	1.101 ± 0.02 a	<0.01
CA, kg PV ha⁻¹	1509 ± 36 a	1078 ± 19 b	819 ± 19 c	519 ± 16 d	<0.01
Emissão g animal⁻¹ dia⁻¹	169 ± 10 b	186 ± 11 a	213 ± 11 a	220 ± 11 a	<0.01
Emissão g kg MS⁻¹	24.8 ± 7.9 b	25.5 ± 8.6 ab	28.4 ± 10.5 ab	29.3 ± 9.2 a	<0.01
Emissão kg ha⁻¹ dia⁻¹	0.932 ± 0.04 a	0.668 ± 0.03 b	0.539 ± 0.02 c	0.330 ± 0.02 d	<0.01
Emissão g kg GMD⁻¹	233 ± 11 a	185 ± 9 b	194 ± 8 b	188 ± 9 b	<0.01
Ym (Emissão %EBC)	9.6 ± 0.01 a	8.8 ± 0.01 ab	8.6 ± 0.01 b	8.5 ± 0.01 b	<0.01
IE kg CO₂^{eq} kg carcaça⁻¹	10.99 ± 0.5 a	8.72 ± 0.4 b	9.14 ± 0.4 b	8.86 ± 0.4 b	<0.01

GMD, ganho médio diário; CA, carga animal; Emissão de CH₄ diária por animal; Emissão por Kg de MS consumida e Ym, % do gasto da energia consumida na emissão de CH₄; IE, intensidade de emissão.

Letras minúsculas distintas diferem na linha pelo teste Contrastes Ortogonais ($\alpha=0,05$); comparação entre tratamentos (média de 2 anos).

* 5 coletas de emissão de gases dos animais. Número de observações = 180. Média ± erro padrão da média. Perdas na coleta de gases = aproximadamente 20% do total do número de observações.

Os animais do tratamento (P10) apresentaram menor emissão diária em valores absolutos comparado aos outros tratamentos. Entretanto, ao agrupar as emissões diárias com a CA de cada tratamento, as emissões foram maiores (kg ha⁻¹ dia⁻¹) conforme o aumento na altura de manejo da pastagem. As emissões para cada kg de GMD foram menores nos tratamentos (P20, P30 e P40) e a porcentagem de energia consumida que foi gasta na produção de CH₄ também acompanhou essa mesma resposta.

O tratamento P20 apresentou menor valor de IE, não diferindo de P30 e P40 ($P > 0,05$), com uma diferença cerca de 25% menor em relação ao tratamento P10.

2.4 DISCUSSÃO

Dois mecanismos podem influenciar a TxAc. As folhas individuais apresentam grande variação em sua capacidade fotossintética, que é determinada por vários fatores como a quantidade de radiação solar incidente, temperatura, suprimento de água e, principalmente, o estágio de desenvolvimento da folha (Hodgson, 1990). Com isso, a idade das folhas remanescentes após a desfolha, e sua relação com a eficiência de absorção de CO_2 na taxa de acúmulo de forragem, assume fundamental importância, como demonstrado por Brown et al. (1966).

Outro mecanismo pode ter sido a queda na taxa de acúmulo de forragem no final do ciclo de pastejo durante o período de transição (Inverno-Primavera) reduzindo a zero, ou em condições extremas, assumindo valores negativos caso a quantidade de material senescente aumente demasiadamente (Parsons et al., 1988). Esse último mecanismo teve uma participação maior no resultado da TxAc do tratamento onde não houve pastejo.

A adoção da adubação sistêmica a partir do ano de 2012 no experimento, com aplicação dos nutrientes na fase pastagem com o objetivo de repor os nutrientes do sistema após a colheita da soja (período de maior exportação de nutrientes do sistema) pode ter influenciado no aumento significativo da TxAc e PTMS nos resultados obtidos nos anos avaliados (2013 e 2014).

Em sistemas integrados através do plantio direto, o aporte diferenciado de resíduos do pasto, tanto na superfície como no perfil do solo pelas raízes é definido pela altura de manejo do pasto. Por isso, o controle da intensidade de pastejo é tão importante ao sistema. O acúmulo e a manutenção de resíduos vegetais na superfície reduzem substancialmente as perdas de solo e de

nutrientes pelos processos erosivos e promove melhorias em diversos atributos, tais como atividade biológica, aumento os estoques de carbono e ciclagem de nutrientes (Seta et al., 1993; Tanaka & Anderson, 1997; Wienhold et al., 2006). Denardin & Kochhann (1993) sugerem uma adição anual de 6 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de palha na superfície para que o sistema PD possa manifestar todo o seu potencial. Em relação ao total necessário sugerido pelos autores e considerando apenas o aporte deixado pelo pasto, esse valor foi de 60, 75 e 90% para os tratamentos P20, P30 e P40, respectivamente (média de dois anos experimentais).

Hammond et al. (2009) e Savian et al (2014) avaliando emissões de metano de ovinos e bovinos em pastagens de azevém perene demonstrou que a composição química representa apenas 20% da variação na produção de CH₄ e o modelo de emissão se relaciona melhor com a ingestão de matéria seca (Moss et al., 1995; Molano and Clark, 2008).

O P10 apresentou maiores teores de PB, menores teores de FDN e FDA que pode ser justificado pela baixa relação C:N em consequência da alta frequência de desfolha que gera maior fluxo de tecidos vegetativos com maiores teores de N nas folhas jovens e quantidade inferior de componentes estruturais. Aguinaga et al. (2008) e Carvalho et al. (2010), utilizando os mesmos tratamentos, observaram uma drástica mudança estrutural em pastos manejados a 30 e 40 cm no mês de setembro, devido à maior proporção de perfilhos florescidos e à acentuada redução da relação lâmina/colmo+bainha.

Segundo Jonhson et al. (1993) o aumento de consumo de forragem diminui a taxa de emissão de metano em 1,6% por kg de matéria seca consumida. Outro fator importante na queda das taxas de emissão por unidade de consumo, pode estar relacionado a variabilidade do fluxo da digesta. Tal como demonstram Moss et al. (2000), o incremento dos fluxos entre 54% e 68%, diminuiu as emissões de CH₄ em 30%.

De acordo com Agreil et al. (2006), a estrutura do pasto determina a disposição das folhas e colmos e sua acessibilidade pelo animal, influenciando diretamente a taxa de ingestão. Se por um lado, a altura baixa do pasto é um fator limitante à massa do bocado por afetar a profundidade do bocado (Laca et

al., 1992; Gregorini et al., 2011), por outro lado, pastagens mais altas limitam o consumo por imporem maior dificuldade à formação do bocado (Gordon and Benvenuti, 2006).

O fornecimento de forragem de alta qualidade, seja através de pasto com menor quantidade de fibra e grande quantidade de carboidratos solúveis, seja gramíneas consorciadas com leguminosas ou pasto em início de estágio vegetativo, podem reduzir a emissão de CH₄ (Beauchemin et al. 2008; Ulyatt et al., 2002). O aumento da qualidade da forragem tende a aumentar a ingestão voluntária e reduzir o tempo de retenção ruminal, promovendo redução da energia da dieta transformada em CH₄, aumentando a eficiência do sistema (Blaxter & Clapperton 1965).

O incremento do GPV por hectare verificado com o aumento das intensidades de pastejo foi resultado direto do aumento da carga animal, conforme relatado por Lopes et al. (2009) e Rocha et al. (2011). As CA de 519 a 1509 kg PV ha⁻¹ obtidas neste trabalho foram superiores às encontradas por Carvalho et al. (2010), que variaram de 315 a 1084 e 342 a 1307 PV ha⁻¹ com base em 10 anos experimentais (Kunrath, 2014).

Ao relacionar duas variáveis importantes de saída (CA e emissão por animal), a primeira produtiva e a segunda ambiental, os tratamentos de menor intensidade de pastejo foram mais eficazes em mitigar o metano animal em Kg ha⁻¹ dia⁻¹ em magnitude até 3 vezes superior ao P10.

A eficiência na produção de metano (Y_m) também foi superior nos tratamentos de menor intensidade de pastejo em relação ao P10. O consumo de energia bruta perdido na produção de metano permaneceram dentro dos limites citados por (Johnson et al., 1995) de 2 a 12%.

Outra medida importante apresentada é o custo em EqCO₂ para produzir 1 Kg de EqCarça. Os resultados obtidos nesse estudo podem ser inferiores aos obtidos em países como E.U.A e Austrália (Desjardins, 2012; Wiedemann, 2015), retomando a importância dos sistemas integrados na produção ambientalmente eficiente de produto animal.

2.5 CONCLUSÕES

Os valores obtidos demonstram que, mesmo apresentando melhores características de valor nutritivo, o tratamento P10, esses valores não foram suficientes em diminuir os efeitos negativos de manter pastagens em alta intensidade de pastejo. Os resultados de consumo de MS demonstram que não houve restrição alimentar no tratamento P10, mas ao comparar aos outros tratamentos a diferença de consumo de MS foi capaz de gerar diferenças nos ganhos individuais dos animais e nas emissões de metano.

Os tratamentos P20 e P30 foram mais eficientes em mitigar a emissão do metano entérico pelos animais. Portanto, manejar animais no ótimo da altura ideal para a planta também otimiza os desempenhos animais e ambientais do sistema.

Em relação ao custo em EqCO₂ para produzir EqCarcaça, os melhores tratamentos foram onde não houve o pastejo intensivo (P10), onde os animais puderam expressar melhor seu desempenho e, ao mesmo tempo, apresentaram menor pressão ambiental dentro do sistema.

2.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGREIL, C.; MEURET, M. An improved method for quantifying intake rate and ingestive behaviour of ruminants in diverse and variable habitats using direct observation. **Small Ruminant Research**, Amsterdam, v.54, p.99–113, 2004.

AGREIL C.; MEURET, M. & FRITZ, H. Adjustment of feeding choices and intake by a ruminant foraging in varied and variable environments: new insights from continuous bite monitoring. In 'Feeding in domestic vertebrates: from structure to behaviour'. (Ed. V Bels) pp. 302–325. (CAB International: Wageningen, The Netherlands), 2006.

AGUIAR, A. et al. Evaluating the statistical variation in estimating forage dry matter intake of grazing Brahman bulls using n-alkanes. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v.151(01), 2013.

AGUINAGA, A.J.Q. **Caracterização de Sistemas de produção de bovinos de corte na região da campanha do estado do Rio Grande do Sul**. 2004. 150f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

AGUINAGA, A.A.Q.; CARVALHO, P.C.F.; ANGHINONI, I. et al. Componentes estruturais e produção de forragem de uma pastagem de aveia e azevém submetida a diferentes alturas de manejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.37, p.1523-1530, 2008.

BARTHAM, G. T. Experimental techniques: the HFRO sward stick. In: Hill farming research. Edinburgh: HFRO, 1985. p.29-30. (Organisation Biennial Report 1984–85).

BEAUCHEMIN, K.A. et al. Nutritional management for enteric methane abatement: a review. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Melbourne, v.48, p.21-27, 2008.

BLAXTER, K.L. & CLAPPERTON, L. Prediction of the amount of methane produced by ruminants. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v.19, p.511–522, 1965.

BROWN, R.H.; COOPER, R.B.; BLASER, R.E. Effects of leaf age on efficiency. **Crop Science**, Madinson, v.6, p.206-209, 1966.

CARVALHO, P.C. de F et al. Managing grazing animals to achieve nutrient cycling and soil improvement in no-till integrated systems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v.88, p.259-273, 2010.

CERRI, C.E.P et al. Tropical agriculture and global warming: Impacts and mitigation options. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.64, p.83-99, 2007.

DENARDIN, J.E.; KOCHHANN, R.A. Requisitos para a implantação e a manutenção do sistema plantio direto. In: EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Trigo (Passo Fundo, RS). Plantio direto no Brasil. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT / FUNDACEP FECOTRIGO / Fundação ABC / Aldeia Norte, p.19,1993.

DESJARDINS, R.L. et al. Carbon Footprint of Beef Cattle. **Sustainability**, Basel, v.4, p.3279-3301, 2012.

DOVE, H.; MAYES, R.W. The use of plant wax alkanes as marker substances in studies of the nutrition of herbivores: a review. **Australian Journal of Agricultural Research**, Victoria, v.42, p.913-952, 1991.

DOVE, H. & MAYES, R.W. Protocol for the analysis of n-alkanes and other plant-wax compounds and their use as markers for quantifying the nutrient supply of large mammalian herbivores. **Nature Protocols**, Londres, v.1 (4), p.1680-1697, 2006.

EUCLIDES, V.P.B. et al. Brazilian scientific progress in pasture research during the first decade of XXI century. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 39, p.151-168, 2010.

GERBER, P.J. et al. Tackling climate change through livestock – A global assessment of emissions and mitigation opportunities. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, 2013.

GERE, J.I. & GRATTON, R. Simple, low-cost flow controllers for time averaged atmospheric sampling and other applications. **Latin American Applied Research**, Bahia Blanca, v.40, p.377- 381, 2010.

GORDON, I.J.; BENVENUTTI, M. Food in 3D: How ruminant livestock interact with sown sward architecture at the bite scale. In: BELS, V. (Ed.). **Feeding in Domestic Vertebrates**. Wallingford: CAB International, p. 273-287,2006.

GREGORINI, P. et al. Effect of herbage depletion on short-term foraging dynamics and diet quality of steers grazing wheat pastures. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 89, p. 3824–3830, 2011.

HAMMOND, K. & MUETZEL, S. The variation in methane emissions from sheep and cattle is not explained by the chemical composition of ryegrass. **Proceedings of New Zealand Animal Production**, Hamilton, v.69, p.174–178, 2009.

HERRERO et al. Greenhouse gas mitigation potentials in the livestock sector. **Nature Climate Change**, Londres, v.6, p.452-461, 2016.

HODGSON, J. Grazing management: science into practice. London, UK: Longman Group. 200pp, 1990.

HOUGHTON, R.A. Contemporary C cycle. In: Treatise on Geochemistry. pp.399–435, 2014.

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change: Summary for Policymakers. In: CLIMATE Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.

JOHNSON, A.D. Sample preparation and chemical analysis of vegetation. In: MANEJTE, L.T. (Ed.). **Measurement of grassland vegetation and animal production**. Aberystwyth: Commonwealth Agricultural Bureaux, p.96-102, 1978.

JOHNSON, D. E. et al. Perspectives on ruminant methane emission. Beef Program Report. Dept. of Anim. Sci., Colorado State University, Fort Collins, 1993.

JOHNSON, K. et al. Measurement of methane emissions from ruminant livestock using a sulfur hexafluoride tracer technique. **Environmental Science Technology**, v.28, p.359–362, 1994.

JOHNSON, K. A., & D. E. JOHNSON. Methane emissions from cattle. **Journal of Animal Science**, Champaign, v 73, p.2483–2492, 1995.

KLINGMAN, D.L.; MILES, S.R.; MOTT, G.O. The cage method for determining consumption and yield of pasture herbage. **Journal of the Animal Society of Agronomy**, v.35, p.739-746, 1943.

KUNRATH, T.R. **Sistemas integrados de produção agropecuária: o papel da pastagem na solução do dilema produção versus conservação**. 2014. 130f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

LACA, E.A. et al. Effects of sward height and bulk-density on bite dimensions of cattle grazing homogeneous swards. **Grass Forage Science**, Oxford, v. 47, p. 91–102, 1992.

LAL, R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. **Science**, Nova York, v.304, p.1623–1627, 2004.

LAM, S.K. et al. The potential for carbon sequestration in Australian agricultural soils is technically and economically limited. **Scientific Reports**, Londres, v.3, p.2179–2184, 2013.

LE QUERE et al. Global carbon budget. **Earth System Science Data**, v.7, p.521–610, 2014.

LE QUERE et al. Global carbon budget. **Earth System Science Data**, v.7, p.349–396, 2015.

LOPES, M.L.T. et al. Sistema de integração lavoura-pecuária: desempenho e qualidade da carcaça de novilhos superprecoces terminados em pastagem de aveia e azevém manejada sob diferentes alturas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, p.178-184, 2008.

LOPES, M. L. T. et al. Sistema de integração lavoura-pecuaria: efeito do manejo da altura de pastos de aveia-preta e azevém anual sobre o rendimento da cultura da soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, p. 1499- 1506, 2009.

MAYES, R.W., LAMB, C.S. The possible use of n-alkanes in herbage as indigestible faecal markers. Proceedings of the Nutrition Society, **Cambridge**, v.43, n.1-3, p.39, 1984. (Abstract)

MOLANO, G. & CLARK, H. The effect of level of intake and forage quality on methane production by sheep. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Melbourne, v.48, p.219–222, 2008.

MOSS, A.R.; GIVENS, D.I. & GARNSWORTHY, P.C. The effect of supplementing grass silage with barley on digestibility, in sacco degradability, rumen fermentation and methane production in sheep at two levels of intake. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v.55, p.9–33, 1995.

MOSS, A. R.; J. P. JOUNAY & J. NEWBOLD. Methane production by ruminants: its contribution to global warming. **Annals Zootechny**, Zaragoza, v.49, p.231-253, 2000.

MOTT, G.O. & LUCAS, H.L. The design, conduct, and interpretation of grazing trials on cultivated and improved pastures. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 6, 1952, Pennsylvania. *Proceedings...* Pennsylvania: State College Press, p.1380-1385, 1952.

NEUFELDT, H., KISSINGER G. & ALCAMO, J. No-till agriculture and climate change mitigation. **Nature Climate Change**, Londres, v.5, p.488–489, 2015.

NEUFELDT, H., ADHYA, T. K., COULIBALY, J. Y., KISSINGER, G. & PAN, G. in The Emissions Gap Report 2013 Ch.4 (United Nations Environment Programme, 2013).

PARSONS, A.J.; PENNING, P.D. The effect of duration of regrowth on photosynthesis, leaf death and average rate of growth in a rotational grazed sward. **Grass and Forage Science**, Oxford, v.43, p.15-27, 1988.

ROCHA, L.M. et al. Desempenho e características das carcaças de novilhos superprecoces em pastos hibernais submetidos a intensidades de pastejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46., n.10, p.1379-1384, 2011.

RUTTER, S.M. Diet preference for grass and legumes in freeranging domestic sheep and cattle: Current theory and future application. **Applied Animal Behavior Science**, v.97, p.17–35, 2006.

SALTON, J. C. et al. Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: Toward a sustainable production system. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 190, p. 70-79, 2014.

SAVIAN, J.V. et al. Grazing intensity and stocking methods on animal production and methane emission by grazing sheep: Implications for integrated crop-livestock system. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.190, 112-119, 2014.

SETA, A.K., R.L. et al. Reducing soil erosion and agrichemical losses with conservation tillage. **Journal of Environmental Quality**, Madinson, v.22, p.661–665, 1993.

TANAKA, D.L., & R.L. ANDERSON. Soil water storage and precipitation storage efficiency of conservation tillage systems. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v.52, p.363–367, 1997.

ULYATT, M.J. et al. Methane emission from dairy cows and wether sheep fed subtropical grass-dominant pastures in midsummer in New Zealand. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, Melbourne, v.45, p.227–234, 2002.

WESP, C.D.L. et al. Steers production in integrated crop-livestock systems: pasture management under different sward heights. **Ciencia Agronômica**, Fortaleza, v. 47, p. 187–194, 2016.

WIEDEMANN, S.G. et al. Resource use and greenhouse gas intensity of Australian beef production: 1981–2010. **Agricultural Systems**, Essex, v.133, p.109-118, 2015.

WIENHOLD, B.J. et al. Cropping system effects on soil quality in the Great Plains: Summary from a regional project. **Renewable Agriculture and Food Systems**, Cambridge, v.20(1), p.49–59, 2006.

3. CAPÍTULO III

Potencial de aquecimento global em sistemas integrados de produção agropecuária sob diferentes intensidades de pastejo¹

POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL EM SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA SOB DIFERENTES INTENSIDADES DE PASTEJO¹

Autor: William de Souza Filho

Orientador: Paulo César de Faccio Carvalho

RESUMO - A influência do manejo do pastejo em SIPA's em relação ao balanço de emissões de gases responsáveis pelo efeito estufa depende das características intrínsecas de cada ambiente, do solo e do clima na qual ele está presente e da interação entre esses fatores. Desta forma, é importante que se avalie de maneira global os efeitos do pastejo em diferentes condições de clima e solo no mundo. A análise do potencial de aquecimento global (PAG) possibilita uma avaliação do sistema de manejo adotado. Através do PAG pode-se selecionar manejos que apresentem menor impacto ambiental e verificar os principais fatores que estejam contribuindo para o maior potencial de aquecimento global no sistema e a partir disso definir medidas mitigatórias e subsidiar políticas públicas. O experimento foi conduzido durante os anos de 2013 e 2014, no estado do Rio Grande do Sul, Brasil, em um protocolo experimental de longo prazo iniciado em 2001. Os tratamentos foram arrançados em um delineamento de blocos completamente casualizados com três repetições e consistiram em diferentes alturas de manejo (10, 20, 30 e 40 cm) que definem diferentes intensidades de pastejo. Os animais experimentais eram novilhos com peso médio de 246 kg e o pasto composto por azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam.) e aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb.). Através do levantamento das emissões dentro de cada setor (operações realizadas para manutenção do sistema produtivo; emissões de gases no solo; dejetos dos animais e emissões entéricas dos animais) verificou-se que as maiores participações nas emissões foram provenientes do solo e das operações realizadas durante o período experimental. Em relação ao animal, somando o que foi emitido pelos dejetos e emissões entéricas, esse valor representou apenas 10% do total emitido. Ao avaliar diferentes estratégias de manejo da altura do pasto, essa participação aumenta para 15% em pastagens hibernais manejadas a 10 cm de altura, com maior carga animal e intensidade de pastejo. O tratamento P30 apresentou os menores valores de intensidade de emissão entre os tratamentos pastejados. Nesse tratamento, são necessários 110g CO₂ eq para produzir 1kg de proteína.

Palavras-chave: Agricultura conservacionista, bovinos, soja, balanço de gases efeito estufa

GLOBAL WARMING POTENTIAL FOR AN INTEGRATED CROP-LIVESTOCK SYSTEM UNDER DIFFERENT GRAZING INTENSITY¹

Author: William de Souza Filho

Advisor: Paulo César de Faccio Carvalho

ABSTRACT - The influence of grazing management on SIPA's in relation to the balance of greenhouse gas emissions depends on the intrinsic characteristics of each field, the soil and the climate in which it is present and the interaction between these factors. In this way, it is important that the effects of grazing under different climate and soil conditions in the world are evaluated in a global way. The analysis of the global warming potential (GWP) allows an evaluation of the adopted management system. Through the PAG it is possible to select managements that present less environmental impact and to verify the main factors that are contributing to the greater potential of global warming in the system and from this, to define mitigating measures and to subsidize public policies. The experiment was conducted during 2013 and 2014, in the state of Rio Grande do Sul, Brazil, in a long-term experimental protocol initiated in 2001. Treatments were arranged in a randomized complete block design with three replicates and consisted of different management heights (10,20,30 and 40 cm) that define different grazing intensities. The experimental animals were steers with a mean weight of 246 kg and the pasture is composed of Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) and black oat (*Avena strigosa* Schreb.). Through the survey of emissions within each sector (operations carried out to maintain the production system, emissions of gases in the soil, animal waste and enteric emissions of animals), it was verified that the largest participation in the emissions came from the soil and the operations carried out during the period of the experiment. In relation to the animal, adding up what was emitted from the waste and enteric emissions, this value represented only 10% of the total emitted. When evaluating different pasture management strategies, this participation increases to 15% in winter pastures managed at 10 cm of height, with higher stocking rate and grazing intensity. The P30 treatment presented the lowest values of emission intensity among the grazed treatments. In this treatment, it takes 110g CO₂ eq to produce 1kg of protein.

Keywords: Conservation agriculture, cattle, soybean, GHG balance

3.1 Introdução

No Brasil, a maioria das terras agricultáveis é ocupada por pastagens (~ 159 milhões de ha). O governo brasileiro projeta um crescimento médio na produção agrícola de 2,7% até 2019 (MAPA / AGE, 2014). Com isso, a taxa de intensificação do uso da terra vai determinar a necessidade de terras agrícolas adicionais para apoiar este crescimento, especialmente no setor pecuário (rebanho bovino), que se baseia sobretudo no pastoreio das pastagens.

Nessas pastagens, o Brasil estabeleceu o maior rebanho bovino comercial do mundo (mais de 212,8 milhões de cabeças em 2011) e tornou-se o maior exportador mundial de carne bovina (IBGE, 2013). Dentro do Plano Brasileiro de Mitigação Adaptação às Alterações Climáticas (Plano ABC), um dos principais compromissos é recuperar 15 milhões de ha de pastagens degradadas até 2020 e evitar a degradação de novas pastagens através do manejo adequado. Estima-se que este plano contribua para a redução das metas emissões de GEE de 36,1% para 38,9% até 2020 (Brasil, 2014), sendo o maior plano de ação em redução das emissões do Planeta.

Diversos estudos apontam que os SIPA, como os de lavoura-pecuária, além de intensificar o uso da terra e diversificar a produção, têm potencial para contribuir para a redução das emissões de GEE, como dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O), por unidade de produto agropecuário (Savian et al., 2014, Sá et al., 2016, de Figueredo et al., 2016).

A influência do pastejo em SIPA em relação ao balanço de emissões de gases responsáveis pelo efeito estufa depende das características intrínsecas de cada campo, do solo e do clima na qual ele está presente e da interação entre esses fatores. Desta forma, é importante que se avalie de maneira global os efeitos do pastejo em diferentes condições de clima e solo no mundo. A análise do potencial de aquecimento global (PAG) possibilita uma avaliação do sistema de manejo adotado. Através do PAG pode-se selecionar manejos que apresentem menor impacto ambiental e verificar os principais fatores que estejam contribuindo para o maior potencial de aquecimento global no sistema e a partir disso definir medidas mitigatórias e subsidiar políticas públicas.

Dessa forma, o presente estudo tem como hipótese testar se a presença do animal através do pastejo não influencia no PAG e tem como objetivo principal avaliar as emissões de GEE nos diferentes compartimentos do SIPA manejados sob diferentes alturas para quantificar o PAG desses sistemas.

3.2 Materiais e Métodos

3.2.1 Área de estudo e preparo da área experimental

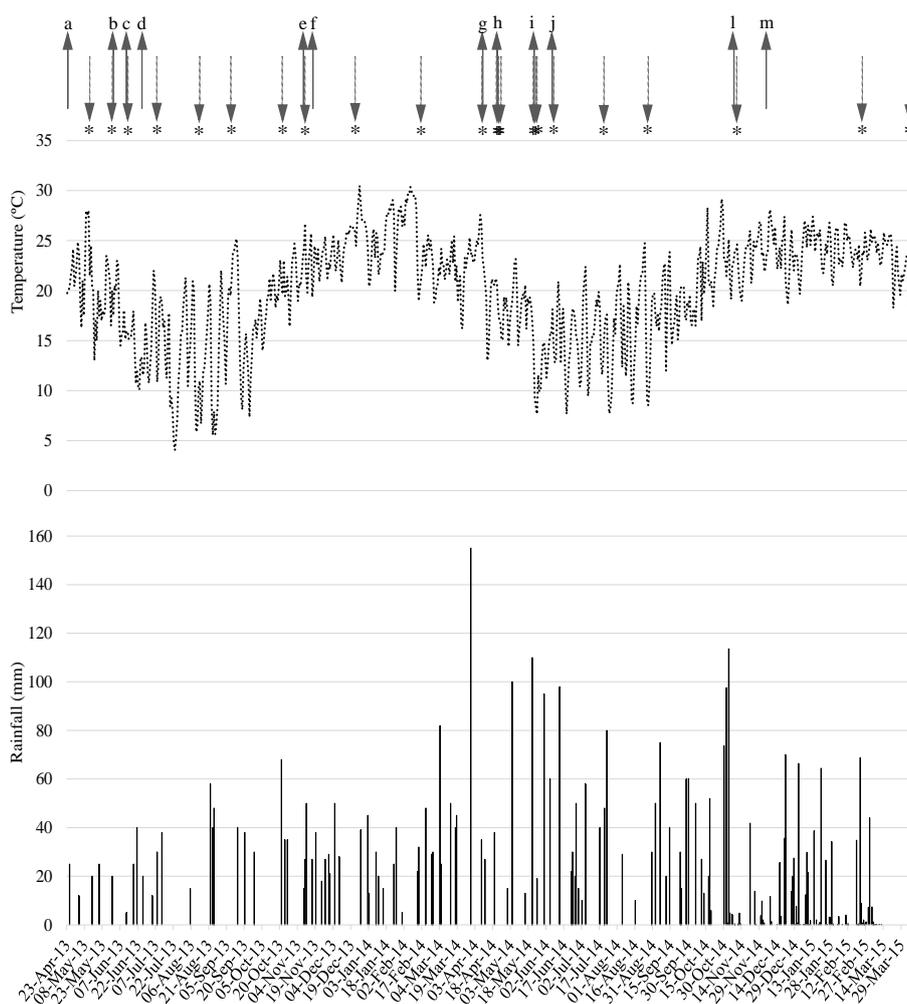
O experimento foi conduzido na região do Planalto Médio do Rio Grande de Sul (RS), no Município de São Miguel das Missões, em área pertencente à Fazenda do Espinilho (28°56'14.00"S, 54°20'45.61"W). O solo é classificado como Latossolo Vermelho Distroférico (EMBRAPA, 1999), com textura argilosa 540, 270 e 190 g kg⁻¹ de argila, silte e areia, respectivamente). O relevo configura-se como ondulado a suavemente ondulado. Segundo a classificação de Köppen (Moreno, 1961), o clima é do tipo Cfa, subtropical úmido. Os dados referentes a precipitação pluviométrica ocorrida durante o período experimental (Figura 4) foram controlados por funcionários da Fazenda do Espinilho e os dados referentes a temperatura do ar foram coletados da Estação Meteorológica de Cruz Alta (INMET, 2013 e 2014).

A área experimental vem sendo manejada desde 1993 sob sistema plantio direto (PD) e desde 2001 em sistema integrado de produção agropecuária (SIPA), onde a cultura da soja (*Glycine max*) no verão se alterna com o pastejo de aveia preta (*Avena strigosa*) e azevém anual (*Lolium multiflorum*) no inverno. O período experimental teve início em 23 de abril de 2013, com a semeadura do pasto, até 17 de abril de 2015, com a colheita da soja, totalizando dois anos de sequência pasto-soja (Figura 4). Realizou-se a semeadura em linha da aveia preta comum 60 kg ha⁻¹ e o azevém anual foi proveniente de ressemeadura natural acrescidos de uma semeadura com 30 kg ha⁻¹ para homogeneização da área.

A adubação consta, basicamente, da aplicação de N na pastagem, e de P e K na soja, considerando as análises de solo, em doses para produtividade

entre 4,0 e 7,0 Mg ha⁻¹ de matéria seca de pasto e de 4,0 Mg ha⁻¹ de grãos de soja (CQFS RS/SC, 2004). Em relação às fontes, para o N, foi sempre utilizado ureia; para o P₂O₅, utilizou-se superfosfato triplo; e, para o K₂O, foi sempre utilizado cloreto de potássio. Em torno de 45 dias após a semeadura da pastagem é realizada uma adubação nitrogenada de cobertura, com dose variando de 45 a 90 kg ha⁻¹ de N, na forma de ureia. A partir do ano de 2012 foi realizada adubação sistêmica (Anghinoni et al., 2013), onde toda a adubação passou a ser aplicada na pastagem, elevando-se a dose de nitrogênio para 150 kg ha⁻¹. O aumento da dose de N nos últimos anos se deu devido ao baixo teor desse nutriente nas folhas da pastagem e à alta relação C/N dos estoques do solo (Assmann et al., 2014).

Figura 4. Temperatura do ar, precipitação e operações agrícolas realizadas durante o período experimental 2013/2014 e 2014/2015.



*Coletas de gases emitidos pelo solo; a) semeadura do pasto; b) aplicação uréia (½ dose); c) aplicação uréia (½ dose); d) entrada dos animais; e) saída dos animais; f) semeadura soja; g) colheita soja; h) plantio aveia e azevém; i) aplicação uréia; j) entrada dos animais; l) saída dos animais; m) semeadura da soja.

Em relação aos produtos químicos utilizados, durante o período experimental, a cada ano antes do plantio da soja, a área é dessecada com glifosato normalmente no mês de dezembro (900 g ha^{-1} de ingrediente ativo (i.a.)) e Classic® ($37,5 \text{ g ha}^{-1}$ i.a.: Ethyl 2-(4-chloro-6-methoxypyrimidin-2-ylcarbamoysulfamoyl). Em janeiro, são aplicados Roundap® (720 g ha^{-1} de i.a. glifosato), juntamente com Opera® (25 g ha^{-1} de i.a. epoxiconazole + 67 g ha^{-1} de i.a. piraclostrobina), Dimilim WG® (24 g ha^{-1} de i.a. diflubenzuron), respectivamente, herbicida, fungicida e inseticida. No mês seguinte, são aplicados mais uma dose de Opera® (25 g ha^{-1} de i.a. epoxiconazole + 67 g ha^{-1} de i.a. piraclostrobina), Dimilim® (24 g ha^{-1} de i.a. diflubenzuron) + Metafós (900 g ha^{-1} de i.a. de metamidofós), fungicida e combinação de dois inseticidas, respectivamente.

3.2.2 Delineamento experimental

Os tratamentos são baseados em diferentes alturas de manejo do pasto, a saber: 10, 20, 30 e 40 cm, além de uma área testemunha sem pastejo (SP). O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com três repetições para os tratamentos e duas repetições para a testemunha SP, totalizando 14 piquetes (unidade experimental – UE), com área total de 22 ha. O monitoramento dos tratamentos foi realizado quinzenalmente, medindo-se 100 pontos de altura do pasto por unidade experimental com o método do bastão graduado (*sward stick*), proposto por Barthram (1985). Para manter as alturas pretendidas foram realizados ajustes na taxa de lotação animal com intervalos de 15 dias, com entradas ou saídas de animais conforme a metodologia de pastoreio contínuo com taxa de lotação variável proposta por Mott & Lucas (1952). Foram mantidos três *testers* por piquete com número variável de animais reguladores.

3.2.3 Metodologia aplicada à quantificação da coleta de GEE:

As avaliações de emissão de N_2O e CH_4 no solo foram realizadas periodicamente de abril de 2013 até abril de 2015. No primeiro ano foram realizadas 15 coletas e no segundo ano pretende-se realizar 18 coletas distribuídas ao longo do período experimental. Amostras de ar foram coletadas com base no método da câmara estática (Mosier, 1989; Parkin et al., 2003). Um conjunto de três câmaras de alumínio (80 cm de comprimento \times 30 cm de altura e 40 cm de largura) foi utilizado em cada tratamento.

As análises das amostras de ar para a determinação das concentrações de N_2O e CH_4 foram efetuadas por cromatografia gasosa no equipamento GC - Shimadzu 14-A, pertencente ao Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Porto Alegre-RS).

Em relação às emissões referentes aos animais em pastejo, foram realizadas duas coletas nos meses de agosto e setembro de 2013 e três coletas em 2014 (agosto, setembro e outubro).

Para quantificar as emissões dos animais em pastejo é necessário conhecer o consumo de matéria seca desses animais. Foi adotado a técnica do n-alcano, de acordo com o protocolo proposto por Dove e Mayes (2006). Para as emissões diárias de CH_4 foi utilizada a técnica do gás traçador SF_6 (Johnson et al., 1994) com sistema de amostragem proposto por Gere e Gratton (2010).

3.2.4 Balanço de gases do efeito estufa do sistema

O PAG das ofertas de forragem foi calculado levando-se em consideração a taxa de sequestro de carbono anual relativa (ΔC_{solo}) (dados obtidos através da dissertação de Cecagno et al., 2015) somada as quantidades de N_2O e CH_4 emitidas anualmente em quantidades equivalentes de CO_2 (CO_2eq). Para isso, levou-se em consideração o potencial de aquecimento global das moléculas de N_2O e de CH_4 que é de 298 e 25 vezes superior à molécula de CO_2 , respectivamente (Forster et al., 2007). A

quantidade de N₂O emitida em cada oferta de forragem corresponde às emissões de N₂O do solo somadas as da urina e do esterco dos bovinos.

A quantidade de N₂O emitida através das excretas dos bovinos foi estimada levando-se em consideração que 0,26% do N excretado na urina e 0,16% do N excretado no esterco dos bovinos foram emitidos como N₂O (Sordi et al.,2014). A quantidade de N ingerida em cada oferta de forragem foi estimada a partir da quantidade de matéria seca consumida nos anos de 2013 e 2014 nos tratamentos (P10, P20, P30 e P40). A partir do total consumido em cada ciclo de pastejo os valores obtidos foram 0,14; 0,11; 0,08 e 0,05 Mg ha⁻¹ média de dois anos experimentais (Dados do experimento 1). A partir disso, considerou-se que 90% do N consumido pelos bovinos é excretado na urina e esterco e que desses, 45% do N excretado foi eliminado via urina e 55% via esterco (Whitehead, 2000).

Os valores de CH₄ emitido em cada oferta de forragem correspondeu à emissão ou à absorção de CH₄ do solo e a emissão de CH₄ entérico (experimento 1).

Além disso, também foram considerados os custos das atividades agrícolas e dos insumos utilizados em cada safra, expressos em quantidade equivalente de C-CO₂ (Tabela 5), baseados em levantamento apresentado em Lal (2004).

Tabela 5. Estimativa dos custos em carbono equivalente (C-CO₂) com o manejo operacional do experimento.

Práticas de manejo/ insumos	Quantidade consumida		kg un. insumo	C-CO ₂ / C-CO ₂ equiv.	Custos de C-CO ₂ equiv.	
	2013/2014	2014/2015			2013/2014	2014/2015
Operações	Diesel, L ha ⁻¹ ano ⁻¹				kg ha ⁻¹ ano ⁻¹	
Semeadura soja	4,60	4,60	0,80		3,68	3,68
Semeadura pasto¹	4,60	4,60	0,80		3,68	3,68
Colheita soja	11,8	11,8	0,80		9,44	9,44
Aplicações de defen- sivos e fertilizantes²	4,0	4,0	0,80		3,20	3,20
Fertilizante	kg ha ⁻¹ ano ⁻¹					
Ureia	280,0	280,0	1,30		364,00	364,00
P₂O₅	60,0	60,0	0,20		12,0	12,0
K₂O	60,0	90,0	0,15		9,0	13,5
Defensivos e químicos	kg ha ⁻¹ ano ⁻¹					
Herbicida	1,66	1,66	7,15		11,87	11,87

Fungicida	0,18	0,18	4,65	0,84	0,84
Inseticida	0,95	0,95	4,60	4,37	4,37
			Total	422,08	422,08

¹Durante a semeadura do pasto também foi realizada a adubação sistêmica.

²Dados referentes aos gastos com óleo diesel de duas aplicações de fertilizantes (2 parcelas de ureia) + (3 aplicações de herbicidas + fungicidas + inseticida durante a fase lavoura)

Como forma de calcular a intensidade de emissão de GEE (IEGEE) e comparar o SIPA com o tratamento controle (SP), foi calculado o equivalente carbono (kg) para produzir 1 kg de proteína utilizando dados de rendimento de carcaça de 53% obtidos no mesmo experimento (Lopes et al., 2008) e teor de proteína bruta da soja e animal de 40 e 26%, respectivamente.

3.2.5 Análise de dados

Foram utilizados modelos lineares mistos para analisar o efeito dos tratamentos em relação as variáveis independentes avaliadas. A estrutura de todos dos modelos usados foi selecionada baseada na razão da verossimilhança (verossimilhança restrita máxima para efeitos aleatórios e máxima verossimilhança para efeitos fixos). Os modelos foram testados através do *likelihood ratio test* e *Akaike Information Criterion* (AIC). Realizou-se todos os modelos baseados na distribuição homogênea Gauss satisfazendo a condição de normalidade dos residuais. Os dados foram analisados através do software R para computação estatística versão 2.12.0.

3.3 Resultados

Os resultados de sequestro de C obtidos no experimento em questão demonstram a importância dessa variável no balanço global de C do experimento. O tratamento P30 foi mais eficiente em mitigar os efeitos da produção agropecuária na emissão de gases responsáveis pelo efeito estufa.

Os resultados obtidos demonstram que houveram influxo de CH₄ (Figura 5) em quase todo o período experimental avaliado e em todos os tratamentos testados.

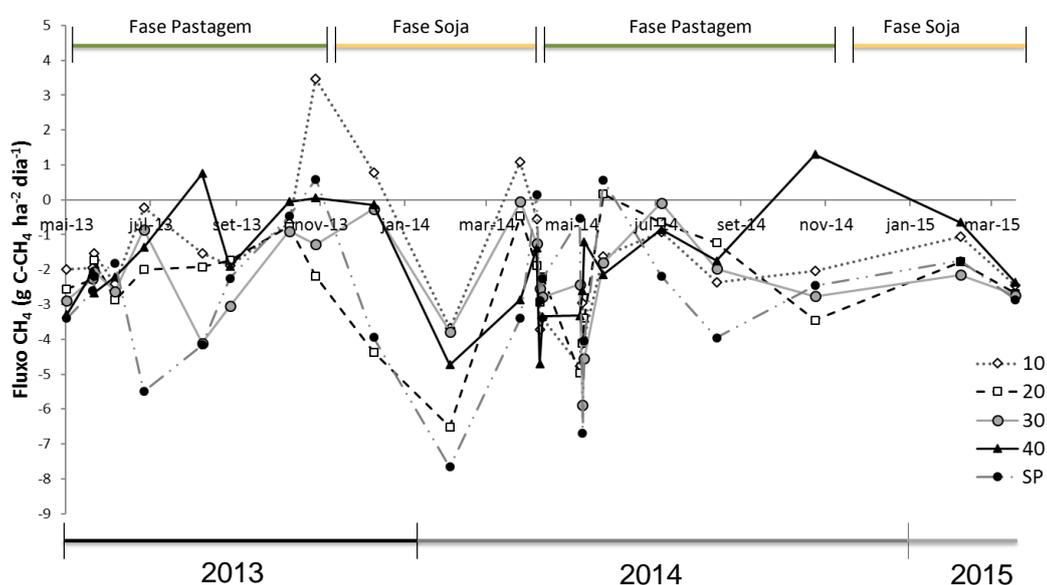


Figura 5. Fluxo de CH₄ no solo em diferentes intensidades de pastejo e tratamento controle (SP) durante todo o período experimental.

Os maiores valores de influxo (quando o solo funciona como dreno) foram obtidos 30 dias antes da colheita da soja em 2014 (i.e. -5,27 g C-CH₄ ha⁻¹ dia⁻¹, média de todos tratamentos).

O fluxo de N₂O nos diferentes tratamentos se manteve estável quase todo ano (Figura 6), apresentando valores elevados no período de aplicação de fertilizantes (i.e. 24,12 g N-N₂O ha⁻¹ dia⁻¹, média dos tratamentos durante a 2ª aplicação de uréia no início de julho de 2013 e 26,31 g N-N₂O ha⁻¹ dia⁻¹, média dos tratamentos 3 dias após semeadura e adubação de N,P e K).

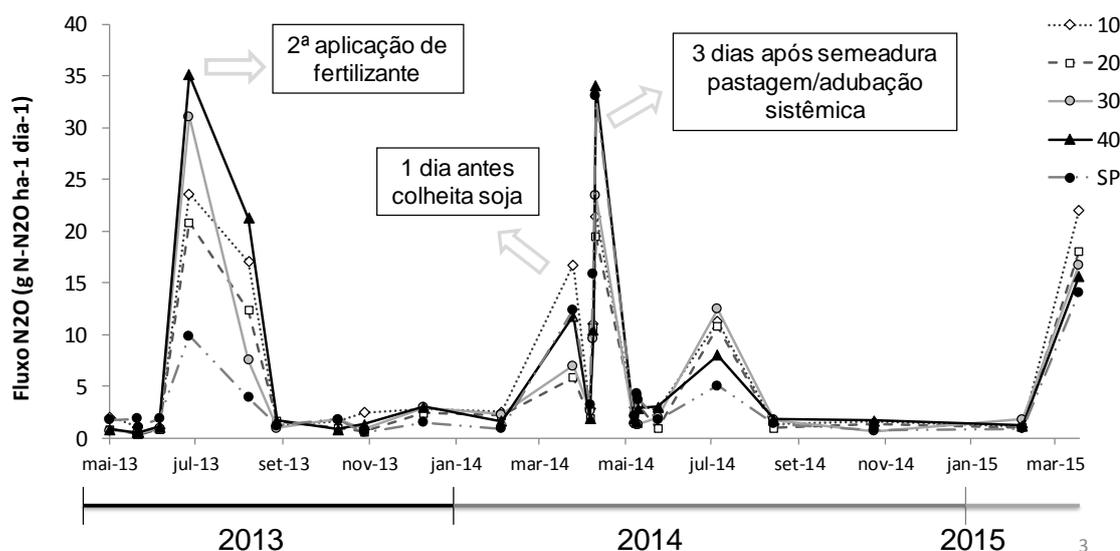


Figura 6. Fluxo de N_2O no solo em diferentes intensidades de pastejo e tratamento controle (SP) durante todo o período experimental.

Os fluxos foram integrados com o objetivo de conhecer os valores emitidos anualmente durante cada ciclo de atividade (Tabela 6).

Tabela 6. Emissão por atividade de N_2O e CH_4 em sistemas integrados de produção agropecuária sob diferentes estratégias de manejo e sistema sem pastejo

	Tratamentos				
	P10	P20	P30	P40	SP
Emissão N_2O ciclo de cultura	-----Kg CO_2 eq ha-----				
Ano 1					
Lavoura	321,42 a	166,09 d	196,50 c	224,10 b	207,26 bc
Pecuária	656,41 a	527,28 c	606,35 b	663,20 a	279,78 d
Ano 2					
Lavoura	272,29 a	236,27 b	231,59 b	237,67 b	182,00 c
Pecuária	551,61 b	462,71 c	611,96 a	580,15 b	484,24 c
Emissão CH_4	-----Kg CO_2 eq ha-----				
Ano 1					
Lavoura	-7,71 a	-53,21 c	-24,40 b	-31,92 b	-56,33 c
Pecuária	-21,01 a	-31,29 b	-31,01 b	-28,26 a	-46,52 c
Ano 2					
Lavoura	-21,74 c	-33,40 d	-32,66 d	-2,38 a	-28,72 b
Pecuária	-40,92 c	-34,04 b	-36,24 b	-26,70 a	-44,68 c

*Letras minúsculas distintas diferem na linha pelo teste Contrastes Ortogonais ($\alpha=0,05$); comparação entre tratamentos.

A emissão acumulada de N₂O do solo considerando pastagem+soja para o ano 2013 e 2014 foram afetadas pelo tratamento e pelo ciclo da cultura ($p < 0,05$), mas não pela interação entre elas.

Os valores de emissão em eqCO₂ de cada atividade são apresentados na tabela 7.

De acordo com os resultados apresentados na tabela, a média de dois anos experimentais para os valores de emissão foram de 458,10 a 841,98 kg de equivalente CO₂ somando os valores de emissão de N₂O e o influxo de CH₄. Os maiores valores de emissão foram obtidos no período da atividade pecuária. Não houve diferença significativa entre os dois anos avaliados ($P < 0,05$). O tratamento P20 apresentou resultado 30% inferior em comparação ao P10 no balanço de gases responsáveis pelo efeito estufa emitidos pelo solo.

Tabela 7. Balanço global das emissões em sistema integrado de produção agropecuária e participações de cada atividade

Atividade	Tratamentos				
	P10	P20	P30	P40	SP
-----Kg CO ₂ eq ha-----					
Emissões					
Balanço GEE solo	(57%) + 842	(54%) + 668	(58%) + 748	(62%) + 819	(52%) + 458
Operações	(29%) + 422	(34%) + 422	(32%) + 422	(32%) + 422	(48%) + 422
Emissão entérica	(9%) + 133	(7%) + 95	(6%) + 77	(4%) + 47	n.a
Dejetos	(5%) + 75	(5%) + 59	(4%) + 46	(2%) + 29	n.a
Sequestro¹	- 300	- 630	- 1120	- 1110	- 1060
Balanço de Carbono SIPA	+1172	+614	+173	+207	-180

¹Taxa de sequestro de Carbono anual (Cecagno, 2015)

Observou-se menor emissão em kg CO₂ eq ha no tratamento P30 em relação aos tratamentos onde houve pastejo e foi cerca de 10 vezes inferior ao tratamento P10. O tratamento convencional, sem entrada de animais, sequestra 180 kg CO₂ equivalente por hectare ano (tabela 7).

Em relação a participação total no balanço de C, os gases liberados pelo solo participaram entre 52-62% do valor total emitido para todos os tratamentos avaliados. As operações agrícolas foram responsáveis por cerca de 30% para os tratamentos pastejados pelo animal com a diluição dos valores com a emissão entérica (5-10% do valor total) e emissões provenientes dos dejetos dos animais (2-5% do valor total). No tratamento onde não houve pastejo, as emissões oriundas das operações agrícolas representaram cerca de 48% do valor total.

Os dados referentes à intensidade de emissão estão apresentados na Tabela 8. O tratamento P30 apresentou os menores valores de intensidade de emissão entre os tratamentos pastejados. Nesse tratamento, são emitidos 110g CO₂ eq para produzir 1kg de proteína. Não houve diferença estatística no total de proteína produzida nos diferentes tratamentos, entretanto o valor de intensidade de emissão mais alto foi obtido no P10 (750g CO₂ eq para produzir 1kg de proteína), cerca de 700% acima do valor obtido no P30 (P<0,05).

Tabela 8. Intensidade de Emissão de GEE em relação a proteína total

	Tratamentos				
	P10	P20	P30	P40	SP
Por proteína	-----Kg ha-----				
Proteína Vegetal¹	1422	1405	1424	1448	1388
Proteína Animal²	148	134	103	66	n.a
Total Proteína	1570a	1539a	1527a	1515a	1388b
Intensidade de Emissão (Kg CO₂ eq / Kg de proteína)	0.75a	0.40b	0.11c	0.14c	-0.13d ³

¹Cálculo baseado na média dos rendimentos das safras 2013 e 2014

²Cálculo baseado no ganho de peso por hectare.

³Não foi levado em consideração os custos com transporte da soja e exportação para nenhum tratamento

*Letras minúsculas distintas diferem na linha pelo teste Contrastes Ortogonais ($\alpha=0,05$); comparação entre tratamentos.

3.4 Discussão

Os solos aerados podem atuar como dreno ou fonte de metano, dominando geralmente a absorção sobre a metanogênese que possa ocorrer em microsítios anaeróbicos. A absorção de CH_4 é controlada pela taxa de difusão e a demanda biológica; por sua vez, a difusão é regulada por fatores físicos, e a demanda biológica por ambientes físicos e químicos. Fatores bióticos e abióticos podem limitar a absorção de CH_4 (Majumdar & Mitra, 2004; Bayer et al., 2012).

O fluxo líquido (emissão ou consumo) de CH_4 irá variar de acordo com a natureza do sistema agrícola e as práticas de manejo adotadas no sistema (Mosier et al., 2004). O efeito da mudança no uso da terra de floresta ou pastagem para a agricultura pode reduzir pela metade ou em dois terços a capacidade do solo de atuar como dreno de CH_4 (Smith & Conen, 2004). Segundo Ball et al. (1999) a taxa de oxidação de metano pode ser reduzida pelo preparo do solo devido à perturbação dos microrganismos metanotróficos, mas é também influenciada pela difusividade gasosa ao afetar a taxa de fornecimento de CH_4 atmosférico.

De forma contrária aos fluxos de N_2O , os fluxos de CH_4 (Figura 2) mostram que, de forma geral, o solo atuou como dreno de CH_4 , notando-se diversos momentos de influxo do gás. Entretanto, em determinado momento após a saída dos animais, no tratamento P10 na fase pastagem (ciclo 2013) observou-se fluxo de CH_4 que pode ter sido ocasionado pela compactação superficial do solo após a saída dos animais. Outro fator que pode ter contribuído para o aumento dos fluxos de CH_4 observados é a provável condição de umidade do solo, que quando alta torna o meio anaeróbico favorecendo o processo da metanogênese.

O preparo do solo pode ocasionar efeitos significativos nas emissões de N_2O do solo. Estudos conduzidos em condições de clima temperado e tropical, têm apresentado tendências de maiores emissões de N_2O em solos sob PD do que em PC, o que está relacionado à condição de maior compactação do solo

não revolvido e que teria reflexo negativo na difusão de O₂ (Ball et al., 1999; Vinten et al., 2002; Gregorich et al., 2005; Liu et al., 2007).

Nos resíduos orgânicos, o nitrogênio (N) está ligado ao carbono (C). A sua disponibilização para as plantas só ocorre mediante a quebra das ligações químicas desses elementos pelos organismos do solo em um processo chamado de mineralização. Muitos são os fatores que podem afetar a mineralização, incluindo a precipitação (regime pluviométrico) a umidade do solo (Nardoto & Bustamante, 2003; Semmartin et al, 2004), a qualidade e a composição química dos resíduos (Paustian et al, 1997; Cornelissen, 1997), a intensidade da luz (Austin & Vivanco, 2006), a concentração de N nos tecidos (Parton et al., 2007) e a variedade de populações microbianas do solo (Smith et al., 2003). Maiores taxas de mineralização de N em pastejos com desfolha frequente e intensidade adequada, influenciam na formação de novos tecidos e na quantidade de N disponibilizado (Boddey et al., 2004; Dubeux et al., 2006).

Devido ao maior aporte de resíduos, o tratamento P40 e o sistema sem pastejo, resultam em maior liberação total de carbono e de nitrogênio dos resíduos de pastagem e do esterco. Por outro lado, a liberação de nitrogênio dos resíduos da soja não é afetada pelo manejo da pastagem ou pela inserção dos animais no sistema, sendo, porém, insuficiente para manter altas produções de matéria seca da pastagem cultivada em sequência (Assman et al, 2015).

Durante o período de avaliação, que correspondeu dois anos agrícola do sistema SIPA, os valores para os fluxos de N-N₂O encontrados variaram de 0,2 a 35 g N-N₂O ha⁻¹ dia⁻¹ (Figura 3). Os valores obtidos são condizentes com esses sistemas, 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. Ramos et al. (2013), avaliando emissões de N₂O em pastagem degradadas e pastagem sob SIPA, encontraram fluxos acima de 30 g N-N₂O ha⁻¹ dia⁻¹, enquanto que Piva (2010) encontrou variação nas emissões de óxido nitroso de -0,14 a 24,72 g N-N₂O ha⁻¹ dia⁻¹ em estudo com emissão de GEE em sistema integrado. Nos dois estudos, nota-se a influência do aporte de matéria orgânica e,

consequentemente, a disponibilidade de C e N para a ação dos microorganismos do solo (Baggs et al., 2000).

O retorno de N nos sistemas pastejados ocorre predominantemente (60-70%) via urina, que está na forma solúvel e prontamente disponível para as culturas, sendo reciclado no próprio ciclo da pastagem, ou perdido do sistema por lixiviação, desnitrificação e volatilização (Haynes & Williams, 1993). Considerando os valores obtidos pela literatura em relação a emissão de gases provenientes dos dejetos e os valores obtidos no estudo 1, foi possível calcular a quantidade emitida proveniente dos dejetos (Tabela 3). O tratamento P10, ao possuir a maior carga animal, também apresenta maiores valores de emissões provenientes de dejetos que decresce de acordo com os tratamentos experimentais, pela ordem de valores absolutos (P10>P20>P30>P40).

Através de modelagem, Cecagno (2015) obteve resultados que indicam que os sistemas mais intensivos de pastejo (10 e 20 cm de altura de manejo do pasto) não conseguem chegar aos estoques da mata nativa ao longo do tempo. Já os sistemas de pastejo com intensidade moderada (30 e 40 cm de altura de manejo do pasto) e sem pastejo apresentam potencial de sequestro de C suficiente para se igualar à mata nativa, desde que os coeficientes de humificação e de perda da MOS não mudem com o passar do tempo.

Diversos autores apontam que aumentar o *input* de biomassa-C de 4,5 MgC ha⁻¹ano⁻¹ para 6,0-8,0 MgC ha⁻¹ano⁻¹ através da melhoria na biodiversidade faz com que os sistemas integrados em PD sejam uma importante ferramenta no sequestro de C (Lal, 2010; Antle and Ogle, 2012; Kirkegaard et al., 2014; Carter et al., 2015; Castelhana et al., 2015; Corbeels et al., 2016). Além disso, a adoção do sequestro de C em PD é fortalecida pelos sinergismos inerentes dentro dos diversos mecanismos que ocorrem do efeito em combinar quantidade, qualidade e frequência das adições de Carbono (Diekow et al., 2005; Blanchart et al., 2007; Sa et al., 2015).

A alta produtividade da soja como proteína produzida por unidade de área dilui os custos em kg CO₂ eq para cada kg de proteína. Raucci (2014) avaliando 55 propriedades produtoras de soja em monocultura durante 3 anos no estado do Mato Grosso, encontrou resultados médios de 0.186 Kg CO₂ eq

para cada Kg de produto produzido (0.465 Kg CO₂ eq para cada Kg de proteína produzida) em análise do ciclo de vida.

Em SIPAs, há um maior crescimento radicular da pastagem (Carvalho et al., 2011). Zanatta & Salton (2010) reportam que há um maior incremento na taxa de sequestro de carbono em SIPAs, do que no sistema de plantio direto em sua forma pura, possivelmente devido ao efeito do animal atuando como um catalisador dos processos que ocorrem no solo (Anghinoni et al., 2013). Sistemas envolvendo gramíneas forrageiras possuem um maior aporte de raízes do que sistemas de culturas graníferas (Rees et al., 2005).

Os dados de intensidade de emissão encontrados corroboram a importância dos sistemas integrados em diminuir as emissões de gases responsáveis pelo efeito estufa, especialmente quando bem manejados. Portanto, em SIPA com pastagens consorciadas de aveia e azevém, os melhores resultados obtidos foram nos tratamentos onde se manteve altura de 20 e 30 cm de manejo.

3.5 Conclusões

Os resultados obtidos no experimento demonstram que tratamento P30 foi mais eficiente em mitigar os efeitos da produção agropecuária na emissão de gases responsáveis pelo efeito estufa avaliando as duas fases produtivas (lavoura e pecuária). O tratamento P10 apresentou valores de intensidade de emissão 7 vezes maior que o melhor tratamento obtido no experimento, mostrando a importância do manejo correto das pastagens em SIPA visando obter respostas ambientais mais satisfatórias.

Em SIPA's, os resultados obtidos demonstram que as emissões provenientes dos animais participam apenas 10% do total das emissões globais relacionadas ao efeito estufa, desmistificando o papel do animal como grande responsável pelo aquecimento global no setor agropecuário.

3.6 Considerações finais

A produção de metano por unidade de carcaça produzida pode ser considerada como um forte parâmetro para identificar as oportunidades de mitigação em sistemas integrados. Os resultados demonstraram que a estratégia de manejo correta durante a fase pecuária (pastos manejados em 20 e 30 cm) em SIPA reduz em até 25% a produção de metano/kg de carcaça produzida.

A adoção de um manejo correto das pastagens durante a fase pecuária possui uma diferença considerável no impacto ecológico na produção de 1 kg de proteína. A oferta inadequada de forragem para os animais pode comprometer o bom funcionamento do sistema. Os resultados demonstraram que é possível produzir em sistemas integrados com níveis baixos de emissão.

3.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F.; COSTA, S. E. V. G. A. Abordagem sistêmica do solo em sistemas integrados de produção agrícola e pecuária no subtropical brasileiro. *Tópicos em Ciência do Solo*, Viçosa, v. 8, p. 221- 278, 2013.

ASSMANN, J. M. et al. Soil carbon and nitrogen stocks and fractions in a longterm integrated crop-livestock system under no-tillage in Southern Brazil. ***Agriculture, Ecosystems and Environment***, Amsterdam, v. 190, p. 52-59, 2014.

ASSMANN, J. M. et al. Ciclagem de carbono e nitrogênio em sistema integrado de produção de soja e bovinos de corte sob diferentes intensidades de pastejo. ***Pesquisa agropecuária brasileira*** [online], vol.50, n.10, pp.967-978, 2015.

AUSTIN, A. T.; VIVANCO, L. Plant litter decomposition in a semi-arid ecosystem controlled by photodegradation. ***Nature***, Ithaca, v. 442, p. 555-558, 2006.

BALL, B. C.; SCOTT, A. & PARKER, J. P. Field N₂O, CO₂ and CH₄ fluxes in relation to tillage, compaction and soil quality in Scotland. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 53, p. 29-39, 1999.

BARTHAM, G. T. Experimental techniques: the HFRO sward stick. In: Hill farming research. Edinburgh: HFRO, 1985. p.29-30. (Organisation Biennial Report 1984–85).

BAYER, C. et al. Methane emission from soil under long-term no-till cropping systems. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 124, p. 1-7, 2012.

BODDEY, R. M. et al. Nitrogen cycling in Brachiaria pastures: the key to understanding the process of pasture decline. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 103, n. 2, p. 389-403, 2004.

CARVALHO, P. C. F. et al. **Integração soja-bovinos de corte no Sul do Brasil**. Porto Alegre: Gráfica RJR, 60 p, 2011.

CECAGNO, D. **Carbono orgânico do solo em sistema integrado de produção agropecuária**. 2015. 70 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

CORNELISSEN, J. H. C.; THOMPSON, K. Functional leaf attributes predict litter decomposition rate in herbaceous plants. **New Phytologist**, Londres, v. 135, n. 1, p. 109-114, 1997.

CQFS RS/SC – COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Porto Alegre: SBCS- RS/EMBRAPA-CNPT, 2004. 400 p.
EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3 ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353 p.

De FIGUEREDO et al. Greenhouse gas balance and carbon footprint of beef cattle in three contrasting pasture-management systems in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, p.1-12, 2016.

DOVE, H. & MAYES, R.W. Protocol for the analysis of n-alkanes and other plant-wax compounds and their use as markers for quantifying the nutrient supply of large mammalian herbivores. **Nature Protocols**, Londres, v.1 (4), p.1680-1697, 2006.

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

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, 1999. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro, 412pp.

FORSTER, P. et al. Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. In: CLIMATE Change 2007: The Physical Science Basis. United Kingdom, New York, 2007. p.129-234.

GERE, J.I. & GRATTON, R. Simple, low-cost flow controllers for time averaged atmospheric sampling and other applications. **Latin American Applied Research**, Bahia Blanca, v.40, p.377- 381, 2010.

GREGORICH, E.G.; ROCHETTE, P.; VANDENBYGAART, A.J.; ANGERS, D.A. Greenhouse gas contributions of agricultural soils and potential mitigation practices in Eastern Canada. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.83, p. 53–72, 2005.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Censo Agropecuário. Banco de Dados Agregados, 2014. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas/ca/default.asp?o=2&i=P>. Acessado em 05 de fevereiro de 2016).

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Distribuição de Probabilidade Climatológica da Precipitação. 2013. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/distribuicoesProbabilidade> Acesso em: 04 maio 2014.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Distribuição de Probabilidade Climatológica da Precipitação. 2014. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/distribuicoesProbabilidade> . Acesso em: 19 outubro 2015.

JOHNSON, K., HUHLER, M., WESTBERG, H., LAMB, B., ZIMMERMAN, P., 1994. Measurement of methane emissions from ruminant livestock using a sulfur hexafluoride tracer technique. *Environ. Sci. Technol.* 28, 359–362.

LAL, R. Carbon emission from farm operations. **Environment international**, Nova Iorque, v.30, p.981–990, 2004.

LIU, X.J.; MOSIER, A.R.; HALVORSON, A.D.; REULE, C.A.; ZHANG, F.S. Dinitrogen and N₂O emissions in arable soils: Effect of tillage, N source and soil moisture. **Soil Biology & Biochemistry**, Elmsford, v.39, p. 2362–2370, 2007.

LOPES, M.L.T. et al. Sistema de integração lavoura-pecuária: desempenho e qualidade da carcaça de novilhos superprecoces terminados em pastagem de aveia e azevém manejada sob diferentes alturas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, p.178-184, 2008.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ALIMENTOS. **Projections of agribusiness: Brazil 2013/14 to 2023/24 Long-term Projections**. Brasília, 2014.

MAJUMDAR, D. & MITRA, S. Methane consumption from ambient atmosphere by a Typic Ustochrept soil as influenced by urea and two nitrification inhibitors. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.39, p.140-145, 2004.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ALIMENTOS (MAPA/ACS) (2014), **Projections of agribusiness: Brazil 2013/14 to 2023/24 Long-term Projections**, Brasília.

MORENO, José Alberto. 1961. *Clima do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, Secretaria da Agricultura, 42p.

MOSIER, A.R. Chamber and isotope techniques. In: ANDREAE, M.O. & CHIMEL, D.S., ed. *Exchange of trace gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere: report of the Dahlem Workshop*. Berlin, Wiley, p.175-187, 1989.

MOSIER, A. et al. Methane and nitrogen oxide fluxes in tropical agricultural soils: sources, sinks and mechanisms. **Environment, Development and Sustainability**, Bruxelas, v. 6, p. 11-49, 2004.

NARDOTO, G. B.; BUSTAMANTE, M. M. C. Effects of fire on soil nitrogen dynamics and microbial biomass in savannas of Central Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 8, p. 955–962, 2003.

PARKIN, T.; MOSIER, A.; SMITH, J.; VENTEREA, R.; JOHNSON, J.; REICOSKY, D.; DOYLE, G.; MCCARTY, G. & BAKER, J. Chamber-based trace gas flux measurement protocol. USDA-ARS GRACE net, 2003.

PARTON, W. A. et al. Global-scale similarities in nitrogen release patterns during long-term decomposition. **Science**, Washington, v. 315, n. 5810, p. 361–364, 2007.

PAUSTIAN, K. et al. Agricultural soils as a sink to mitigate CO₂ emissions. **Soil Use and Management**, Lismore, v. 13, n. 4, p. 230-244, 1997.

SAVIAN, J.V. et al. Grazing intensity and stocking methods on animal production and methane emission by grazing sheep: Implications for integrated crop-livestock system **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.190, 112-119, 2014.

SÁ et al. Low-carbon agriculture in South America to mitigate global climate change and advance food security. **Environment International**, Londres, 2016.

SEMMARTIN M. et al. Litter quality and nutrient cycling affected by grazing-induced replacements in species composition along a precipitation gradient. **Oikos**, Dinamarca, v. 107, n. 1, p. 148–160, 2004.

SMITH, V. C.; BRADFORD, M. A. Litter quality impacts on grassland litter decomposition are differently dependent on soil fauna across time. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 24, n. 2, p. 197–203, 2003.

SMITH, K. A.; CONEN, F. Impacts of land management on fluxes of trace greenhouse gases. **Soil Use and Management**, Oxford, v. 20, p. 255-263, 2004.

SORDI, A. et al. Nitrous oxide emission factors for urine and dung patches in a

subtropical Brazilian pastureland. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 190, n. 0, p. 94-103, 2014.

VINTEN, A. J. A.; BALL, B. C.; O'SULLIVAN, M. F.; HENSHALL, J. K. The effects of cultivation method, fertilizer input and previous sward type on organic C and N storage and gaseous losses under spring and winter barley following long-term leys. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v.139, p. 231–243, 2002.

WHITEHEAD, D.C. Nitrogen. In: NUTRIENT Elements in Grassland. Soil-Plant-Animal Relationships. Wallingford, UK: CABI Publishing, 2000. p.95-125.

Zanatta, J.A. & Salton, J.C. Soil carbon sequestration affected by no-tillage and integrated crop-livestock systems in Midwestern Brazil. 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World. IUSS, Brisbane, pp. 210-212, 2010.

4. REFERÊNCIAS

ALLARD, V. et al. Elevated CO₂ effects on decomposition processes in a grazed grassland. **Global Change Biology**, Oxford, v.10, p.1553–1564, 2004.

ALLARD, V. et al. The role of grazing management for the net biome productivity and greenhouse gas budget (CO₂, N₂O and CH₄) of semi-natural grassland. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.121, p. 47–58, 2007.

ANGHINONI, I. et al. Benefícios da integração lavoura-pecuária sobre a fertilidade do solo em sistema plantio-direto. In: FONSECA, A.; CAIRES, E. F.; BARTZ, G. (Eds.). **Fertilidade do solo e nutrição de plantas no sistema plantio direto**. Ponta Grossa: Fundação ABC, p.272-309, 2011.

ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F.; COSTA, S. E. V. G. A. Abordagem sistêmica do solo em sistemas integrados de produção agrícola e pecuária no subtropical brasileiro. **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa, v. 8, p. 221- 278, 2013.

ASSMANN, J. M. et al. Soil carbon and nitrogen stocks and fractions in a longterm integrated crop-livestock system under no-tillage in Southern Brazil.

Agriculture, Ecosystems and Environment, Amsterdam, v. 190, p. 52-59, 2014.

BARNEZE, A. et al. Nitrous oxide emissions from soil due to urine deposition by grazing cattle in Brazil. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 92, p. 394-397, 2014.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A. et al. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Metrópole, 2008, p. 7-18.

BERNER, W.; OESCHGER, H.; STAUFFER, B. Information on the CO₂ cycle from ice core studies. **Radiocarbon**, New Haven, v.22, p.227–235, 1980.

BLAKE, D.R. et al. Global increase in atmospheric methane concentrations between 1978 and 1980. **Geophysical Research Letter**, Washington, v.9, p.477– 480, 1982.

BLAXTER, K.L. CLAPPERTON, L., Prediction of the amount of methane produced by ruminants. **The British Journal of Nutrition**, Cambridge, v.19, p.511–522, 1965.

BOECKX, P. et al. Methane oxidation in soils with different textures and land use. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 49 (1), p. 91-95, 1997.

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

BRASIL (2012). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Plano setorial de mitigação e da adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura: plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono)/Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Ministério do Desenvolvimento Agrário, coordenação da Casa Civil da Presidência da República. –Brasília: MAPA/ACS.

CARVALHO, P. C.F. et al. O estado da arte em integração lavoura-pecuária. In: GOTTSCHELL, C.S.; SILVA, J.L.S.; RODRIGUES, N.C. (Org.). **Produção animal: mitos, pesquisa e adoção de tecnologia**, Canoas, RS, p.7-44, 2005.

CARVALHO, P.C. de F et al. Managing grazing animals to achieve nutrient cycling and soil improvement in no-till integrated systems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v.88, p.259-273, 2010.

CARVALHO, P. C. F. et al. **Integração soja-bovinos de corte no Sul do Brasil**. Porto Alegre: Gráfica RJR, 60 p, 2011.

CECAGNO, D. **Carbono orgânico do solo em sistema integrado de produção agropecuária**. 2015. 70 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

CEDERBERG, C.; MEYER, D. & FLYSJÖ, A. Life Cycle Inventory of greenhouse gas emissions and use of land and energy of Brazilian beef exported to Europe, SIK-Rapport 792, SIK – Institutet för Livsmedel och Bioteknik, Göteborg, 2009.

CERRI, C.E.P et al. Tropical agriculture and global warming: Impacts and mitigation options. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.64, p.83-99, 2007.

CHÁVEZ, L. F. et al. Diversidade metabólica e atividade microbiana no solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob intensidades de pastejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Rio de Janeiro, v. 46, p. 1254-1261, 2011.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 20 dez. 2016.

CONCEIÇÃO, P. C. et al. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 777-788, 2005.

CONTE, O. et al. Relação entre resistência mecânica do solo à penetração e força de tração demandada por hastes sulcadoras de semeadoras-adubadoras, em sistema de integração lavoura-pecuária. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, p. 730-739, 2008.

CORBEELS, M. et al. Evidence of limited carbon sequestration in soils under no-tillage systems in the Cerrado of Brazil. **Nature Reports**, Londres, artigo número 21.450, 2016.

COSTA, S. E. V. G. A. **Intervalo hídrico ótimo no solo e estado hídrico das plantas em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto**. 2014. 226 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

CRUTZEN, P. J. “Geology of Mankind”, **Nature**, Londres, 415, 23, 2002.

CUI, X. Y. et al. Effect of long-term grazing on soil organic carbon content in semiarid steppes in Inner Mongolia. **Ecological Research**, Sakura-Mura, v. 20, n. 5, p. 519–527, 2005.

DALAL, R.C. et al. Nitrous oxide emission from Australian agricultural lands and mitigation options: a review. **Soil Research**, Rome, v. 41, n. 2, p. 165-195, 2003.

De FIGUEREDO et al. Greenhouse gas balance and carbon footprint of beef cattle in three contrasting pasture-management systems in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, p.1-12, 2016.

De KLEIN, C.A.M. et al. Estimating a nitrous oxide emission factor for animal urine from some New Zealand pastoral soils. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 41, n. 3, p. 381-399, 2003.

De MAZANCOURT, C.; LOREAU, M.; ABBADIE, L. Grazing optimization and nutrient cycling: when do herbivores enhance plant production? **Ecology**, Oxford, v.79, p.2242–2252, 1998.

Del GROSSO et al. Simulated effects of dryland cropping intensification on soil organic matter and greenhouse gas exchanges using the DAYCENT ecosystem model. **Environmental Pollution**, Barking, v.116 (S1), p. S75-S83, 2002.

Del PRADO, A et al. Whole-farm models to quantify GHG emissions and their potential use for linking climate change mitigation and adaptation in temperate grassland ruminant-based farming systems. **Animal**, Cambridge, v7 (S2), p. 373–385, 2013.

DELMAS, R.J., J.M. ASCENCIO, and M. LEGRAND. Polar ice evidence that atmospheric CO₂ 20,000 yr BP was 50% of present. **Nature**, Londres, v.284, p.155–157, 1980.

DLUGOKENCKY, E.J et al. Continuing decline in the growth rate of the atmospheric methane burden. **Nature**, Londres, v.393, p.447–450, 1998.

DORÉ, T. et al. Facing up to the paradigm of ecological intensification in agronomy: Revisiting methods, concepts and knowledge. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 34, p. 197–210, 2011.

ETHERIDGE, D.M. et al. Natural and anthropogenic changes in atmospheric CO₂ over the last 1000 years from air in Antarctic ice and firn. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v.101, p.4115–4128, 1996.

EUCLIDES, V.P.B. et al. Brazilian scientific progress in pasture research during the first decade of XXI century. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 39, p.151-168, 2010.

FAO. **An international consultation on integrated crop-livestock systems for development: The Way Forward for Sustainable Production Intensification**. Rome, v.13, 64 p., 2010.

FELTRE, R. **Química Geral**. 6 ed. São Paulo: Editora Moderna, 2004. v.2 – Físico-química. 418 p.

FERREIRA, E.V.O. et al. Concentração do potássio do solo em sistema de Integração lavoura-pecuária em plantio direto submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, p. 33, p. 1675- 1684, 2009.

FLORES, J. P. C. et al. Atributos químicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto com aplicação superficial de calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 2385-2396, 2008.

FOLEY, J. A. *et al.* Solutions for a cultivated planet. **Nature**, Londres, v.478, p.337–342, 2011.

FORSTER, P. et al. Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing. In: SOLOMON, S. et al. (Ed.). **Climate change: the physical science basis**. Cambridge: Cambridge University Press, p. 129- 234, 2007.

FRANZLUEBBERS, A. J. & STUEDEMANN, J. A. Early Response of Soil Organic Fractions to Tillage and Integrated Crop–Livestock Production. **Soil Science Society American Journal**, v.72, p.613-625, 2008.

FRANZLUEBBERS, A.J., SULC, R.M., RUSSELLE, M.P. Opportunities and challenge for integrating North-American crop and livestock systems. In: Lemaire, G., Hodgson, J., Chabbi, A. (Eds.), **Grassland Productivity and Ecosystem Services**, Wallingford, UK, p. 208–218, 2011.

FRASER, P.J et al. Trends of atmospheric methane in the southern hemisphere. **Geophysical Research Letters**, Washington, v.8, p.1063–1066, 1981.

GOUVELLO, C. **Estudo de baixo carbono para o Brasil**. Brasília: Banco Mundial, 278 p, 2010.

GRAEDEL, T.E.; MCRAE, J.E. On the possible increase of atmospheric methane and carbon monoxide concentrations during the last decade. **Geophysical Research Letters**, Washington, v.7, p.977–979, 1980.

HAMMOND, K. J. et al. Effects of feed intake on enteric methane emissions from sheep fed fresh white clover (*Trifolium repens*) and perennial ryegrass (*Lolium perenne*) forages. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v. 179, p. 121-132, 2013.

HARTWIG, U.A. et al. Dueto symbiotic N₂ fixation, five years of elevated atmospheric pCO₂ had no effect on the N concentration of plant litter in fertile, mixed grassland. **Plant and Soil**, The Hague, v.224, p.43–50, 2000.

HE N.P. et al. Grazing intensity impacts soil carbon and nitrogen storage of continental steppe. **Ecosphere**, Washington, v. 2, n. 1, p. 1-8, 2011.

HERRERO, M. et al. Smart investments in sustainable food production: revisiting mixed crop-livestock systems. **Science**, New York, v. 327, p. 822-825, 2010.

HOAGLAND, L. et al. Labor availability in an integrated agricultural system. **Journal of Sustainable Agriculture**, v.34, p.532–548, 2010.

HOUGHTON, R.A. Contemporary C cycle. In: Treatise on Geochemistry, p. 399–435, 2014.

HÜSTCH, B.W. Methane oxidation in arable soil as inhibited by ammonium, nitrite and organic manure with respect to soil pH. **Biology and fertility of soils**, Berlim, v.28, p.27-35, 1998.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Censo Agropecuário. Banco de Dados Agregados, 2014. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas/ca/default.asp?o=2&i=P>. Acessado em 05 de fevereiro de 2016).

INDERMÜHLE, A., et al. Holocene carbon-cycle dynamics based on CO₂ trapped in ice at Taylor Dome, Antarctica. **Nature**, v.398, p.121–126, 1999.

IPCC Climate Change: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 881 p., 2001.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Climate Change: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, Switzerland: IPCC, 2007. 104p. Disponível em: http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_synthesis_report.htm. Acessado em 10 janeiro de 2016.

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change: Summary for Policymakers. In: CLIMATE Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.

JARVIS, G.N. et al. Isolation and identification of ruminal methanogens from grazing cattle. **Current Microbiology**, Nova York, v.40, p.327-332, 2000.

JASTROW, J. D.; MILLER, R. M. Soil aggregate stabilization and carbon sequestration: Feedbacks through organomineral associations. In: LAL, R. et al. **Soil processes and the carbon cycle**. Boca Raton: CRC Press, 1997. p. 207-223.

JOHNSON, K. A., & D. E. JOHNSON. Methane emissions from cattle. **Journal of Animal Science**, Champaign, v 73, p.2483–2492, 1995.

KEELING, C.D. The concentration and isotopic abundances of carbon dioxide in rural and marine air. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, Londres, v.24, p.277–298, 1961.

KEELING, C.D. Rewards and penalties of monitoring the Earth. **Annual Review of Energy and the Environment**, Londres, v.23, p.25–82, 1998.

KEELING, R.F.; SHERTZ, S.R. Seasonal and interannual variations in atmospheric oxygen and implications for the global carbon-cycle. **Nature**, Londres, v.358, p.723–727, 1992.

KLUMPP, K. & SOUSSANA, J.-F. Using functional traits to predict grassland ecosystem change: a mathematical test of the response-and-effect. **Global Change Biology**, Oxford, v.15, p.2921–2934, 2009.

KOOPS, J.G. et al. Nitrous oxide production, its source and distribution in urine patches on grassland on peat soil. **Plant and Soil**, The Hague, v. 191, n. 1, p. 57-65, 1997.

KUMAR, U. et al. Nitrous oxide emission from different fertilizers and its mitigation by nitrification inhibitors in irrigated rice. **Biology and Fertility of Soils**, Berlim, v.32, p.474-478, 2000.

KUNRATH, T.R. et al. Grazing management in an integrated crop-livestock system: soybean development and grain yield. **Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 46, p. 645–653, 2015.

KURIHARA M. et al. Methane production and energy partition of cattle in the tropics. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v 81: p 227-234, 1999.

LAL, R. Carbon emission from farm operations. **Environment international**, Nova Iorque, v.30, p.981–990, 2004a.

LAL, R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. **Science**, Nova Iorque, v.304, p.1623–1627, 2004b.

LAM, S.K. et al. The potential for carbon sequestration in Australian agricultural soils is technically and economically limited. **Science Reports**, Londres, v.3, p. 2179–2184, 2013.

LASSEY, K. R. et al. Centennial evolution of the atmospheric methane budget: What do the carbon isotopes tell us?. **Atmospheric Chemistry and Physics**, Munique, v.7, p.2119–2139, 2007.

LEE, S.C.; LEE, H.J.; OH, Y.K. Methane production from enteric fermentation in ruminants. **Journal of Animal Science** 13 (Special Issue): p171-181, 2000.

LE QUERE et al. Global carbon budget. **Earth System Science Data**, v.7, p.521–610, 2014.

LE QUERE et al. Global carbon budget. **Earth System Science Data**, v.7, p.349–396, 2015.

LE TREUT, H. et al. Historical Overview of Climate Change. In: Climate Change The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

LEMAIRE, G. & CHAPMAN, D. Tissue flows in grazed plant communities. In: Hodgson, J., Illius, A.W. (Eds.). The Ecology and Management of Grazing Systems. CABInternational, Wallingford, UK, pp. 3–35, 1996.

LEMAIRE, G.; WILKINS, R.; HODGSON, J. Challenge for grassland science: Managing research priorities. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 108, p. 99–108, 2005.

LEMAIRE, G., JEUFFROY, M.H., GASTAL, F. Diagnostic tools for crop and plant N status in vegetative stage. Theory and practices for crop N management. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v.28, p.614–624, 2008.

LEMAIRE, G.; HODGSON, J.; CHABBI, A. (Ed.). **Grassland Productivity and Ecosystem Services**. Wallingford: CAB International, p. 208–218, 2011.

LEMAIRE, G. et al. Integrated crop–livestock systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. **Agriculture Ecosystem & Environment**, Amsterdam, v. 190, p. 4–8, 2013.

LESSA, A.C.R. et al. Bovine urine and dung deposited on Brazilian savannah pastures contribute differently to direct and indirect soil nitrous oxide emissions. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 190, p. 104-111, 2014.

LIEBIG, M.A. et al. Soil response to long-term grazing in the northern Great Plains of North America. **Agriculture Ecosystem & Environment**, Amsterdam, v.115, p.270–276, 2006.

LOBATO, J.F. et al. Brazilian beef produced on pastures: sustainable and healthy. **Meat Science**, Barking, v. 98, n. 3, p. 336-45, 2014.

LOPES, M. L. T. et al. Sistema de integração lavoura-pecuária: efeito do manejo da altura de pastos de aveia-preta e azevém anual sobre o rendimento da cultura da soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, p. 1499- 1506, 2009.

LUNARDI, R. et al. Rendimento de soja em sistema de integração lavoura pecuária: efeito de métodos e intensidades de pastejo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, p. 795-801, 2008.

LUO, J. et al. Nitrous oxide emissions from animal urine application on a New Zealand pasture. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 44, n. 3, p. 463-470, 2008.

MAIRE, V. et al. Trade-off between root N acquisition and shoot N utilization across 13 co-occurring pasture grass species. **Functional Ecology**, Oxford, v.23, p.668–679, 2009.

MARCOTT, S.A. et al. A reconstruction of regional and global temperature for the past 11,300 years. **Science**, Nova York, v.339, n.6124, p.1198–1201, 2013.

MARTHA JÚNIOR, G. B.; ALVES, E.; CONTINI, E. Dimensão econômica de sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, p. 1117-1126, 2011.

MARTINS, A. P. et al. Amelioration of soil acidity and soybean yield after surface lime reapplication to a long-term no-till integrated crop-livestock system under varying grazing intensities. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 144, p. 141-149, 2014a.

MARTINS, A. P. et al. Soil acidification and basic cation use efficiency in an integrated no-till crop-livestock system under different grazing intensities. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 195, p. 18-28, 2014b.

McSHERRY, M & RITCHIE, M.E. Effects of grazing on grassland soil carbon density: a global review. **Global Change Biology**, Oxford, v.19, p.1347-1357, 2013.

MEDEIROS, R.B. Considerações sobre a integração lavoura-pecuária no Rio Grande do Sul. In: SIMPÓSIO SOBRE O MANEJO DA PASTAGEM, 5., 1978, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: ESALQ, p. 235–301, 1978.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ALIMENTOS. **Projections of agribusiness: Brazil 2013/14 to 2023/24 Long-term Projections**. Brasília, 2014.

MOE, P.W & TYRRELL, H. F. Methane production in dairy cows. **Journal of Dairy Science**: v 62:p 1583–1586, 1979.

MORAES, A. et al. Integrated crop – livestock systems in the Brazilian subtropics. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v.57, p.4–9, 2014.

MOREIRA, W. H. et al. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico em sistema de integração lavoura-pecuária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, p. 389-400, 2012.

MOSIER, A.R. Chamber and isotope techniques. In: **ANDREAE, M.O. & SCHIMMEL, D.S.**, ed. Exchange of trace gases between terrestrial ecosystems

and the atmosphere: report of the Dahlem Workshop. Berlin, Wiley, p.175-187, 1989.

MOSIER, A.R. et al. Net global warming potential and greenhouse gas intensity in irrigated cropping systems in northeastern Colorado. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.35, p.1584–1598, 2006.

MOSS AR, JOUANY JP, NEWBOLD J. Methane production by ruminants: its contribution to global warming. INRA EDP Sciences. **Annales de Zootechnie**: v 49:p 231-253, 2000.

MOSS A.R et al. The effect of supplementing grass silage with soya bean meal on digestibility, in sacco degradability, rumen fermentation and methane production in sheep. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v 97, p127- 143, 2002.

NEFTTEL, A., et al. Ice core sample measurements give atmospheric CO₂ content during the Past 40,000 Yr. **Nature**, Londres, v.295, p.220–223, 1982.

NEFTTEL, A. et al. Evidence from polar ice cores for the increase in atmospheric CO₂ in the past 2 centuries. **Nature**, Londres, v.315, p.45–47, 1985.

NEUFELDT, H. et al. The Emissions Gap Report Ch.4 (United Nations Environment Programme, 2013), 2013.

NEUFELDT, H. et al. No-till agriculture and climate change mitigation. **Nature Climate Change**, Londres, v.5, p.488–489, 2015.

NICOLOSO, R. S. et al. Balanço do carbono orgânico no solo sob integração lavoura-pecuária no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 2425-2433, 2008.

PERSONENI, E & LOISEAU, P. Species strategy and N fluxes in grassland soil –a question of root litter quality or rhizospheric activity? **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 22, p.217–229, 2005.

POWLSON, D.S et al. Limited potential of no-till agriculture for climate change mitigation. **Nature Climate Change**, Londres, v. 4, p.678–683, 2014.

POWLSON, D.S et al. Does conservation agriculture deliver climate change mitigation through soil carbon sequestration in tropical agro-ecosystems? **Agriculture Ecology Environment**, v.220, p.164–174, 2016.

RAMASWAMY, V., et al. Radiative forcing of climate change. In: *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Houghton, J.T., et al. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, p. 349– 416, 2001.

REEDER, J.D. & SCHUMAN, G.E. Influence of livestock grazing on C sequestration in semi-arid mixedgrass and short-grass rangelands. **Journal of Environmental Pollution**, Dordrecht, v.116, p.457-463, 2002.

REEDER, J.D. et al. Response of Organic and Inorganic Carbon and Nitrogen to Long-Term Grazing of the Shortgrass Steppe. **Environmental management**, Nova Iorque, vol. 33, n.4, p. 485-495, 2004.

ROBERTSON, G.P.; PAUL, E.A.; HARWOOD, R.R. Greenhouse gases in intensive agriculture: contributions of individual gases to the radiative forcing of the atmosphere. **Science**, Nova Iorque, v.289, p.1922–1925, 2000.

ROBERTSON, G.P. & GRACE, P.R. Greenhouse gas fluxes in tropical and temperate agriculture: the need for a full-cost accounting of global warming potentials. **Environment, Development and Sustainability**, Bruxelas, v.6, p.51–63, 2004.

ROBERTSON, G.P. et al. The biogeochemistry of bioenergy landscapes: carbon, nitrogen, and water considerations. **Ecological Applications**, Tempe, v.21, p.1055–1067, 2011.

ROBERTSON, G.P. Soil greenhouse gas emissions and their mitigation. **Encyclopedia of Agriculture and Food System**, San Diego, p.185-196, 2014.

ROSCOE, R.; BODDEY, R. M.; SALTON, J. C. Sistemas de manejo e matéria orgânica do solo. In: *DINÂMICA da matéria orgânica em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares*. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, p. 17-42, 2006.

ROTZ, C. A. et al. Integrated farm system model: Reference manual. USDA Agricultural Research Service, University Park, PA. www.ars.usda.gov/SP2UserFiles/Place/19020000/ifsmreference.pdf. Acessado em 19 de março de 2013.

RUSSELLE, M.P., ENTZ, M.H., FRANZLUEBBERS, A.J. Reconsidering integrated crop–livestock systems in North-America. **Agronomy Journal**, Madison, v.99, p.325–334, 2007.

SAGGAR, S., HEDLEY, C. B., GILTRAP, D. L., LAMBIE, S. M. Measured and modeled estimates of nitrous oxide emission and methane consumption from a sheep-grazed pasture. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 122, p. 357-365, 2007.

SAGGAR, S. et al. Denitrification and N₂O:N₂ production in temperate grasslands: Processes, measurements, modelling and mitigating negative impacts. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 465, p. 173-195, 2013.

SALTON, J. C. et al. Teor e dinâmica do carbono no solo em sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, p. 1349-1356, 2011.

SALTON, J. C. et al. Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: Toward a sustainable production system. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 190, p. 70-79, 2014.

SAVIAN, J.V. et al. Grazing intensity and stocking methods on animal production and methane emission by grazing sheep: Implications for integrated crop-livestock system. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.190, 112-119, 2014.

SÁ et al. Low-carbon agriculture in South America to mitigate global climate change and advance food security. **Environment International**, Londres, 2016.

SCHUMAN, G.E. et al. Impact of grazing management on the carbon and nitrogen balance of a mixed-grass rangeland. **Journal of Ecology Applied**, Oxford, v.9, p.65-71, 1999.

SHRESTHA, D & STAHL, P.D. Carbon accumulation and storage in semi-arid sagebrush steppe: Effects of long-term grazing exclusion. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 125 n. 1, p. 173-181, 2008.

SHI, X. M. et al. Grazing exclusion decreases soil organic C storage at an alpine grassland of the Qinghai-Tibetan Plateau. **Ecological Engineering**, Amsterdam, v. 57, p. 183-187, 2013.

SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S. Matéria orgânica do solo. In: VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. **Biologia dos solos dos cerrados**. Planaltina: Embrapa-CNPAC, 1997. p. 467-524.

SILVA, I. R. et al. **Manejo de resíduos e matéria orgânica do solo em plantações de eucalipto**: uma questão estratégia para a manutenção da sustentabilidade. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo: Boletim Informativo, v. 29, p. 10-20, 2004.

SILVA, R. F. et al. Análise conjunta de atributos físicos e biológicos do solo sob sistema de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, p. 1277-1283, 2011.

SIX, J. et al. The potential to mitigate global warming with no-tillage management is only realized when practiced in the long term. **Global Change Biology**, Oxford, v. 10, n. 2, p. 155-160, 2004

SMITH, P et al. **Climate Change 2007: Mitigation**. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

SNYDER, C. S. et al. Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 133, n. 3-4, p. 247-266, 2009.

SOMMER, R. & BOSSIO, D. Dynamics and climate change mitigation potential of soil organic carbon sequestration. **Journal of Environmental Management**, Londres, v.144, p.83-87, 2014.

SORDI, A. et al. Nitrous oxide emission factors for urine and dung patches in a subtropical Brazilian pastureland. **Agriculture, Ecosystems & Environment**,

Amsterdam, v. 190, n. 0, p. 94-103, 2014.

SOUSSANA, J-F. et al. Carbon cycling and sequestration opportunities in temperate grasslands. **Soil Use and Management**, Oxford, v.20, p.219–230, 2004.

SOUSSANA, J-F & LEMAIRE, G. Coupling carbon and nitrogen cycles for environmentally sustainable intensification of grasslands and crop-livestock systems. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v.190, p.9-17, 2014.

SOUZA, E. D. et al. Estoques de carbono orgânico e de nitrogênio no solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 1829-1836, 2009.

SOUZA, E. D. et al. Biomassa microbiana do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 74-88, 2010a.

SOUZA, E. D. et al. Soil aggregation in a crop-livestock integration system under no-tillage. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 1365-1374, 2010b

STEELE, L.P. et al: Atmospheric methane, carbon dioxide, carbon monoxide, hydrogen, and nitrous oxide from Cape Grim air samples analysed by gas chromatography. In: BASELINE Atmospheric Program Australia, 1994-95. Melbourne, Australia: Bureau of Meteorology and CSIRO Division of Atmospheric Research, p. 107–110, 1996.

STEFFENS, M. et al. Grazing effects on soil chemical and physical properties in a semiarid steppe of Inner Mongolia (P.R. China). **Geoderma**, Amsterdam, v. 143, n. 1-2, p. 63–72, 2008.

STEHFEST, E. et al. Options to reduce the environmental effects of livestock production - Comparison of two economic models. **Agriculture Systems**, Essex, v.114, p.38–53, 2013.

STUDDERT, G.A.; ECHEVERRIA, H.E.; CASANOVAS, E.M. Crop-pasture rotation for sustaining the quality and productivity of a typical Argiudoll. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v61, p.1466–1472, 1997.

VALLIS, I. et al. Volatilization of ammonia from urine patches in a subtropical pasture. **Australian Journal of Agricultural Research**, Victoria, v. 33, n. 1, p. 97-107, 1982.

VANDENBYGAART, A.J. The myth that no-till can mitigate global climate change **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v.216, p.98–99, 2016.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 743-755, 2009.

WHITEHEAD, D.C. Nitrogen. In: NUTRIENT Elements in Grassland. Soil-Plant-Animal Relationships. Wallingford, UK: CABI Publishing, 2000. p.95-125.

WILLIAMS M.W et al. Data for snowmelt model development, calibration, and verification at an alpine site, Colorado Front Range. **Water Resources Research**, Washington, v.35(10), p.3205–3209, 1999.

WRAGE, N. et al. Role of nitrifier denitrification in the production of nitrous oxide. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 33, n. 12–13, p. 1723-1732, 2001.

YAMULKI, S, & JARVIS, S.C. Nitrous oxide emissions from excreta from simulated grazing pattern and fertilizer application to grassland, 1997. In: *Proceedings International Conference on Nitrogen Emissions from Grassland; Gaseous and their Interactions*. IGER, North Wyke, Okehampton, Devon, 20-22 May, 1996. (in press).

APÊNDICE

Apêndice 1. Normas para elaboração e submissão de trabalhos científicos à revista *Agriculture, Ecosystems & Environment*.



AGRICULTURE, ECOSYSTEMS & ENVIRONMENT

An International Journal for Scientific Research on the Interaction Between Agroecosystems and the Environment

AUTHOR INFORMATION PACK

TABLE OF CONTENTS

• Description	p.1
• Audience	p.1
• Impact Factor	p.2
• Abstracting and Indexing	p.2
• Editorial Board	p.2
• Guide for Authors	p.4



ISSN: 0167-8309

DESCRIPTION

AGRICULTURE, ECOSYSTEMS AND ENVIRONMENT

An International Journal for Scientific Research on the Interaction Between Agroecosystems and the Environment

Agriculture, Ecosystems and Environment publishes scientific articles dealing with the interface between **agroecosystems** and the **natural environment**, specifically how **agriculture** influences the environment and how changes in that environment impact agroecosystems. Preference is given to papers from experimental and observational research at the field, system or landscape level, from studies that enhance our understanding of processes using data-based biophysical modelling, and papers that bridge scientific disciplines and integrate knowledge. All papers should be placed in an international or wide comparative context.

The focus is on the following areas:

- Biological and physical characteristics and dynamics of agroecosystems.
- Ecology, diversity and sustainability of agricultural systems.
- Relationships between agroecosystems and the natural environment, including land, air, and water.
- Agroecosystem and global environmental changes including climate change, greenhouse gases and air pollution.
- Ecological consequences of intensification, soil degradation, waste application, irrigation, and mitigation options.
- Environmental implications of agricultural land use and land use change.

All manuscripts are initially screened on their topic suitability and linguistic quality. The following topics are discouraged unless they provide new information regarding processes operating at the agroecosystem-environment interface: inventory and survey analysis and impact assessment, including life cycle and energy analysis; greenhouse or laboratory-based studies; development of models or methodologies and pure model application; studies that are purely agronomic, socio-economic, or political.

AUDIENCE

Scientists in Agriculture, Forestry, Ecology and the Environment, Administrators and Policy-Makers in these fields.

IMPACT FACTOR

2016: 4.099 © Thomson Reuters Journal Citation Reports 2017

ABSTRACTING AND INDEXING

AGRICOLA
 BIOSIS
 Biological and Agricultural Index
 Elsevier BIOBASE
 Current Contents/Agriculture, Biology & Environmental Sciences
 Ecological Abstracts
 Environmental Abstracts
 Environmental Periodicals Bibliography
 GEOBASE
 Science Citation Index
 TROPAG/RURAL Database
 Scopus
 EMBiology

EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief:

J. Fuhrer, Agroscope, Climate/Air Pollution Research Group, Zurich, Switzerland

Associate Editors

C. Boutin, Environment Canada, Ottawa, ON, Canada
F. Burel, Université de Rennes I, Rennes, France
A.C. Edwards, Crop & Soil Systems, SRUC, Aberdeen, UK
Y. Li, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing, China
S.L. Poggio, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina
S. Saggart, Manaaki Whenua Landcare Research, Palmerston North, New Zealand
G. Seneviratne, National Institute of Fundamental Studies, Kandy, Sri Lanka
B. Vanlauwe, International Institute of Tropical Agriculture, Nairobi, Kenya
T.A. Veldkamp, University of Twente, Enschede, Netherlands

Editorial Advisory Board

J. Alvaro-Fuentes, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Spain
T.J.C. Amado, Federal University of Santa Maria, Santa Maria, Spain
P. Audet, EDI Environmental Dynamics Inc. - Terrestrial Ecology, Land Reclamation, Grande Prairie, Alberta, Canada
N. Batjes, ISRIC - World Soil Information, Wageningen, Netherlands
R. Bhattacharyya, Indian Agricultural Research Institute, New Delhi, India
K. Birkhofer, Lund University, Lund, Sweden
I. Cardoso, Federal University of Viçosa, Viçosa, Brazil
C. Carranca, Instituto Nacional de Investigação Agrária (INIAV), Nova Oeiras, Portugal
X. Chen, Zhejiang University, Zhejiang, China
F. Conen, Universität Basel, Basel, Switzerland
A. de Rouw, Université Pierre et Marie Curie, Paris, France
C. Drury, Agriculture and Agri-Food Canada (AAFC), Harrow, Ontario, Canada
L.G. Firbank, Institute of Grasslands and Environmental Research, Okehampton, UK
M. Frei, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Bonn, Germany
G. Giltrap, Landcare Research, Lincoln, New Zealand
S. Hauser, IITA, Croydon, UK
J. Helenius, University of Helsinki, Helsinki, Finland
G. Hernandez-Ramirez, University of Alberta, Edmonton, Alberta, Canada
Y. Huang, Chinese Academy of Sciences (CAS), Beijing, China
M.J. Jones, The Roaches, Dorset, UK
P.J. Kim, Gyeongsang National University, Chinju, The Republic of Korea
M.B. Kirkham, Kansas State University, Manhattan, Kansas, USA
J. Leifeld, Agroscope, Zürich, Switzerland
F.-M. Li, Lanzhou University, Lanzhou, Gansu Province, China
B. Loubet, Institut Nationale de la Recherche Agronomique (INRA), Thiverval-Grignon, France

J. Luo, AgResearch, Hamilton, New Zealand
N.Z. Lupwayi, Agriculture and Agri-Food Canada (AAFC), Lethbridge, Alberta, Canada
E.J.P. Marshall, Marshall Agroecology Limited, Winscombe, UK
W.J. McConnell, Michigan State University, East Lansing, Michigan, USA
G. Moreno Marcos, Universidad de Extremadura, Plasencia, Spain
K. Mueller, AgResearch Ltd., Hamilton, New Zealand
J. Nyamangara, Chinhoyi University of Technology, A1, Chinhoyi, Zimbabwe
O. Oenema, University of Wageningen, Wageningen, Netherlands
D.M. Olszyk, U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Corvallis, Oregon, USA
A. Ouin, INP ENSAT, Castanet-Tolosan, France
S. Petit, INRA Centre de Dijon, 21065 Dijon cedex, France
D. Abalos, Wageningen University, Wageningen, Netherlands
R. Scalenghe, Università degli Studi di Palermo, Palermo, Italy
C. Scheer, Queensland University of Technology, Brisbane, Queensland, Australia
J. Schrautzer, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (CAU), Kiel, Germany
M. Shiyomi, Ibaraki University, Mito, Japan
M. Sperow, West Virginia University, Morgantown, West Virginia, USA
P. Thorburn, CSIRO Agriculture Flagship, St Lucia, Australia
K. Topp, Scotland's Rural College (SRUC), Edinburgh, UK
F. Van der Pol, Royal Tropical Institute, Amsterdam, Netherlands
E.F. Viglizzo, INTA Centro Regional La Pampa, Santa Rosa, La Pampa, Argentina
C. Wellstein, Libera Università di Bolzano, Italy
B.A. Woodcock, NERC Centre for Ecology and Hydrology, Crowmarsh Gifford, Wallingford, England, UK
H. Xiubin, Chinese Academy of Sciences (CAS), Yangling, Shaanxi, China
H. Yao, Zhejiang University, Hangzhou, China

GUIDE FOR AUTHORS

INTRODUCTION

Agriculture, Ecosystems and Environment deals with the interface between agriculture and the environment. Preference is given to papers that develop and apply interdisciplinarity, bridge scientific disciplines, integrate scientific analyses derived from different perspectives of agroecosystem sustainability, and are put in as wide an international or comparative context as possible. It is addressed to scientists in agriculture, food production, agroforestry, ecology, environment, earth and resource management, and administrators and policy-makers in these fields.

The journal regularly covers topics such as: ecology of agricultural production methods; influence of agricultural production methods on the environment, including soil, water and air quality, and use of energy and non-renewable resources; agroecosystem management, functioning, health, and complexity, including agro-biodiversity and response of multi-species ecosystems to environmental stress; the effect of pollutants on agriculture; agro-landscape values and changes, landscape indicators and sustainable land use; farming system changes and dynamics; integrated pest management and crop protection; and problems of agroecosystems from a biological, physical, economic, and socio-cultural standpoint.

Types of papers

1. Original papers (Regular Papers) should report the results of original research. The material should not have been published previously elsewhere, except in a preliminary form.
2. Reviews should cover a part of the subject of active current interest. They may be submitted or invited.
3. A Short Communication is a concise, but complete, description of a limited investigation, which will not be included in a later paper. Short Communications should be as completely documented, both by reference to the literature and description of the experimental procedures employed, as a regular paper. They should not occupy more than 6 printed pages (about 12 manuscript pages, including figures, etc.).
4. In the section 'Comments', short commentaries on material published in the journal are included, together with replies from author(s).
5. The section 'Opinion Paper' offers a forum for discussion of emerging or controversial ideas, or new approaches and concepts, in all areas covered by the journal. Contributions to this section should not occupy more than 2 printed pages (about 4 manuscript pages).

Submission checklist

You can use this list to carry out a final check of your submission before you send it to the journal for review. Please check the relevant section in this Guide for Authors for more details.

Ensure that the following items are present:

One author has been designated as the corresponding author with contact details:

- E-mail address
- Full postal address

All necessary files have been uploaded:

Manuscript:

- Include keywords
- All figures (include relevant captions)
- All tables (including titles, description, footnotes)
- Ensure all figure and table citations in the text match the files provided
- Indicate clearly if color should be used for any figures in print

Graphical Abstracts / Highlights files (where applicable)

Supplemental files (where applicable)

Further considerations

- Manuscript has been 'spell checked' and 'grammar checked'
- All references mentioned in the Reference List are cited in the text, and vice versa
- Permission has been obtained for use of copyrighted material from other sources (including the Internet)

- A competing interests statement is provided, even if the authors have no competing interests to declare
- Journal policies detailed in this guide have been reviewed
- Referee suggestions and contact details provided, based on journal requirements

For further information, visit our [Support Center](#).

Submission checklist - Revisions

While revising the manuscript please ensure that all the figures meet the following requirements:

- Axes lines are approx. 0.25 mm and in black, and axes have a title.
- Axes are clearly marked with units in brackets after the axis title, and ticks/scale marks are inside of graph.
- Title and units are in italics and always in black. Units format is $g\ ha^{-1}$ instead of g/ha .
- Plots should have no frames, and data lines are sufficiently thick.
- Preferred symbols, in order, are open circles, closed (black filling) circles, open and closed squares, and open and closed triangles. The same symbol should be used for the same entity in different figures.

BEFORE YOU BEGIN

Ethics in publishing

Please see our information pages on [Ethics in publishing](#) and [Ethical guidelines for journal publication](#).

Declaration of interest

All authors must disclose any financial and personal relationships with other people or organizations that could inappropriately influence (bias) their work. Examples of potential conflicts of interest include employment, consultancies, stock ownership, honoraria, paid expert testimony, patent applications/registrations, and grants or other funding. If there are no conflicts of interest then please state this: 'Conflicts of interest: none'. [More information](#).

Submission declaration and verification

Submission of an article implies that the work described has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see ['Multiple, redundant or concurrent publication'](#) section of our ethics policy for more information), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. To verify originality, your article may be checked by the originality detection service [CrossCheck](#).

Changes to authorship

Authors are expected to consider carefully the list and order of authors **before** submitting their manuscript and provide the definitive list of authors at the time of the original submission. Any addition, deletion or rearrangement of author names in the authorship list should be made only **before** the manuscript has been accepted and only if approved by the journal Editor. To request such a change, the Editor must receive the following from the **corresponding author**: (a) the reason for the change in author list and (b) written confirmation (e-mail, letter) from all authors that they agree with the addition, removal or rearrangement. In the case of addition or removal of authors, this includes confirmation from the author being added or removed.

Only in exceptional circumstances will the Editor consider the addition, deletion or rearrangement of authors **after** the manuscript has been accepted. While the Editor considers the request, publication of the manuscript will be suspended. If the manuscript has already been published in an online issue, any requests approved by the Editor will result in a corrigendum.

Article transfer service

This journal is part of our Article Transfer Service. This means that if the Editor feels your article is more suitable in one of our other participating journals, then you may be asked to consider transferring the article to one of those. If you agree, your article will be transferred automatically on your behalf with no need to reformat. Please note that your article will be reviewed again by the new journal. [More information](#).

Article Transfer Service

This journal is part of our Article Transfer Service. This means that if the Editor feels your article is more suitable for another journal, you may be asked to consider transferring your article to the alternative journal of your choice. If you agree, your article will be transferred automatically on your behalf with no need to reformat. More information about this can be found here: <http://www.elsevier.com/authors/article-transfer-service>.

Copyright

Upon acceptance of an article, authors will be asked to complete a 'Journal Publishing Agreement' (see [more information](#) on this). An e-mail will be sent to the corresponding author confirming receipt of the manuscript together with a 'Journal Publishing Agreement' form or a link to the online version of this agreement.

Subscribers may reproduce tables of contents or prepare lists of articles including abstracts for internal circulation within their institutions. [Permission](#) of the Publisher is required for resale or distribution outside the institution and for all other derivative works, including compilations and translations. If excerpts from other copyrighted works are included, the author(s) must obtain written permission from the copyright owners and credit the source(s) in the article. Elsevier has [preprinted forms](#) for use by authors in these cases.

For open access articles: Upon acceptance of an article, authors will be asked to complete an 'Exclusive License Agreement' ([more information](#)). Permitted third party reuse of open access articles is determined by the author's choice of user license.

Author rights

As an author you (or your employer or institution) have certain rights to reuse your work. [More information](#).

Elsevier supports responsible sharing

Find out how you can [share your research](#) published in Elsevier journals.

Role of the funding source

You are requested to identify who provided financial support for the conduct of the research and/or preparation of the article and to briefly describe the role of the sponsor(s), if any, in study design; in the collection, analysis and interpretation of data; in the writing of the report; and in the decision to submit the article for publication. If the funding source(s) had no such involvement then this should be stated.

Funding body agreements and policies

Elsevier has established a number of agreements with funding bodies which allow authors to comply with their funder's open access policies. Some funding bodies will reimburse the author for the Open Access Publication Fee. Details of [existing agreements](#) are available online.

Open access

This journal offers authors a choice in publishing their research:

Open access

- Articles are freely available to both subscribers and the wider public with permitted reuse.
- An open access publication fee is payable by authors or on their behalf, e.g. by their research funder or institution.

Subscription

- Articles are made available to subscribers as well as developing countries and patient groups through our [universal access programs](#).
- No open access publication fee payable by authors.

Regardless of how you choose to publish your article, the journal will apply the same peer review criteria and acceptance standards.

For open access articles, permitted third party (re)use is defined by the following [Creative Commons user licenses](#):

Creative Commons Attribution (CC BY)

Lets others distribute and copy the article, create extracts, abstracts, and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), include in a collective work (such as an anthology), text or data mine the article, even for commercial purposes, as long as they credit the author(s), do not represent the author as endorsing their adaptation of the article, and do not modify the article in such a way as to damage the author's honor or reputation.

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs (CC BY-NC-ND)

For non-commercial purposes, lets others distribute and copy the article, and to include in a collective work (such as an anthology), as long as they credit the author(s) and provided they do not alter or modify the article.

The open access publication fee for this journal is **USD 3600**, excluding taxes. Learn more about Elsevier's pricing policy: <https://www.elsevier.com/openaccesspricing>.

Green open access

Authors can share their research in a variety of different ways and Elsevier has a number of green open access options available. We recommend authors see our [green open access page](#) for further information. Authors can also self-archive their manuscripts immediately and enable public access from their institution's repository after an embargo period. This is the version that has been accepted for publication and which typically includes author-incorporated changes suggested during submission, peer review and in editor-author communications. Embargo period: For subscription articles, an appropriate amount of time is needed for journals to deliver value to subscribing customers before an article becomes freely available to the public. This is the embargo period and it begins from the date the article is formally published online in its final and fully citable form. [Find out more.](#)

This journal has an embargo period of 24 months.

Elsevier Publishing Campus

The Elsevier Publishing Campus (www.publishingcampus.com) is an online platform offering free lectures, interactive training and professional advice to support you in publishing your research. The College of Skills training offers modules on how to prepare, write and structure your article and explains how editors will look at your paper when it is submitted for publication. Use these resources, and more, to ensure that your submission will be the best that you can make it.

Language (usage and editing services)

Please write your text in good English (American or British usage is accepted, but not a mixture of these). Authors who feel their English language manuscript may require editing to eliminate possible grammatical or spelling errors and to conform to correct scientific English may wish to use the [English Language Editing service](#) available from Elsevier's WebShop.

Submission

Our online submission system guides you stepwise through the process of entering your article details and uploading your files. The system converts your article files to a single PDF file used in the peer-review process. Editable files (e.g., Word, LaTeX) are required to typeset your article for final publication. All correspondence, including notification of the Editor's decision and requests for revision, is sent by e-mail.

Referees

Please submit, with the manuscript, the names, addresses and e-mail addresses of five potential referees. The suggested referees should not be part of your or your co-authors' institutions, nor should you or your co-authors have collaborated with them in the past three years. Potential referees should be experts in your research field and from several countries.

Note that the editor retains the sole right to decide whether or not the suggested reviewers are used.

PREPARATION**Peer review**

This journal operates a single blind review process. All contributions will be initially assessed by the editor for suitability for the journal. Papers deemed suitable are then typically sent to a minimum of two independent expert reviewers to assess the scientific quality of the paper. The Editor is responsible for the final decision regarding acceptance or rejection of articles. The Editor's decision is final. [More information on types of peer review.](#)

Use of word processing software

It is important that the file be saved in the native format of the word processor used. The text should be in single-column format. Keep the layout of the text as simple as possible. Most formatting codes will be removed and replaced on processing the article. In particular, do not use the word processor's options to justify text or to hyphenate words. However, do use bold face, italics, subscripts, superscripts etc. When preparing tables, if you are using a table grid, use only one grid for each individual table and not a grid for each row. If no grid is used, use tabs, not spaces, to align columns. The electronic text should be prepared in a way very similar to that of conventional manuscripts (see also the Guide to Publishing with Elsevier: <http://www.elsevier.com/guidepublication>). Note that source files of figures, tables and text graphics will be required whether or not you embed your figures in the text. See also the section on Electronic artwork.

To avoid unnecessary errors you are strongly advised to use the 'spell-check' and 'grammar-check' functions of your word processor.

Manuscripts should be prepared with numbered lines, with wide margins and double line spacing throughout, i.e. also for abstracts, footnotes and references. Every page of the manuscript, including the title page, references, tables, etc. should be numbered. However, in the text no reference should be made to page numbers; if necessary, one may refer to sections.

Article structure

Subdivision - numbered sections

Divide your article into clearly defined and numbered sections. Subsections should be numbered 1.1 (then 1.1.1, 1.1.2, ...), 1.2, etc. (the abstract is not included in section numbering). Use this numbering also for internal cross-referencing: do not just refer to 'the text'. Any subsection may be given a brief heading. Each heading should appear on its own separate line.

Introduction

State the objectives of the work and provide an adequate background, avoiding a detailed literature survey or a summary of the results.

Results

Results should be clear and concise.

Discussion

This should explore the significance of the results of the work, not repeat them. A combined Results and Discussion section is often appropriate. Avoid extensive citations and discussion of published literature.

Conclusions

The main conclusions of the study may be presented in a short Conclusions section, which may stand alone or form a subsection of a Discussion or Results and Discussion section.

Appendices

If there is more than one appendix, they should be identified as A, B, etc. Formulae and equations in appendices should be given separate numbering: Eq. (A.1), Eq. (A.2), etc.; in a subsequent appendix, Eq. (B.1) and so on. Similarly for tables and figures: Table A.1; Fig. A.1, etc.

Essential title page information

- **Title.** Concise and informative. Titles are often used in information-retrieval systems. Avoid abbreviations and formulae where possible.
- **Author names and affiliations.** Please clearly indicate the given name(s) and family name(s) of each author and check that all names are accurately spelled. Present the authors' affiliation addresses (where the actual work was done) below the names. Indicate all affiliations with a lower-case superscript letter immediately after the author's name and in front of the appropriate address. Provide the full postal address of each affiliation, including the country name and, if available, the e-mail address of each author.
- **Corresponding author.** Clearly indicate who will handle correspondence at all stages of refereeing and publication, also post-publication. **Ensure that the e-mail address is given and that contact details are kept up to date by the corresponding author.**
- **Present/permanent address.** If an author has moved since the work described in the article was done, or was visiting at the time, a 'Present address' (or 'Permanent address') may be indicated as a footnote to that author's name. The address at which the author actually did the work must be retained as the main, affiliation address. Superscript Arabic numerals are used for such footnotes.

Abstract

A concise and factual abstract is required. The abstract should state briefly the purpose of the research, the principal results and major conclusions. An abstract is often presented separately from the article, so it must be able to stand alone. For this reason, References should be avoided, but if essential, then cite the author(s) and year(s). Also, non-standard or uncommon abbreviations should be avoided, but if essential they must be defined at their first mention in the abstract itself.

Optional graphical abstract

A Graphical abstract is optional and should summarize the contents of the paper in a concise, pictorial form designed to capture the attention of a wide readership online. Authors must provide images that clearly represent the work described in the paper. Graphical abstracts should be submitted with a caption. Supply captions separately, not attached to the graphical abstract. A caption should comprise a brief title (**not** on the graphical abstract itself). Graphical abstracts should be submitted as a separate file in the online submission system. Maximum image size: 400 600 pixels (h w, recommended size 200 500 pixels). Preferred file types: TIFF, EPS, PDF or MS Office files. See <http://www.elsevier.com/graphicalabstracts> for examples.

Highlights

Highlights are mandatory for this journal. They consist of a short collection of bullet points that convey the core findings of the article and should be submitted in a separate editable file in the online submission system. Please use 'Highlights' in the file name and include 3 to 5 bullet points (maximum 85 characters, including spaces, per bullet point). You can view example Highlights on our Information site.

Keywords

Immediately after the abstract, please provide 4-6 keywords, using American spelling and avoiding general and plural terms and multiple concepts (avoid, for example, 'and', 'of'). Be sparing with abbreviations: only abbreviations firmly established in the field may be eligible. These keywords will be used for indexing purposes.

Acknowledgements

Collate acknowledgements in a separate section at the end of the article before the references and do not, therefore, include them on the title page, as a footnote to the title or otherwise. List here those individuals who provided help during the research (e.g., providing language help, writing assistance or proof reading the article, etc.).

Formatting of funding sources

List funding sources in this standard way to facilitate compliance to funder's requirements:

Funding: This work was supported by the National Institutes of Health [grant numbers xxx, yyy]; the Bill & Melinda Gates Foundation, Seattle, WA [grant number zzz]; and the United States Institutes of Peace [grant number aaa].

It is not necessary to include detailed descriptions on the program or type of grants and awards. When funding is from a block grant or other resources available to a university, college, or other research institution, submit the name of the institute or organization that provided the funding.

If no funding has been provided for the research, please include the following sentence:

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Math formulae

Please submit math equations as editable text and not as images. Present simple formulae in line with normal text where possible and use the solidus (/) instead of a horizontal line for small fractional terms, e.g., X/Y. In principle, variables are to be presented in italics. Powers of e are often more conveniently denoted by exp. Number consecutively any equations that have to be displayed separately from the text (if referred to explicitly in the text).

Footnotes

Footnotes should be used sparingly. Number them consecutively throughout the article. Many word processors can build footnotes into the text, and this feature may be used. Otherwise, please indicate the position of footnotes in the text and list the footnotes themselves separately at the end of the article. Do not include footnotes in the Reference list.

Artwork

Electronic artwork

General points

- Make sure you use uniform lettering and sizing of your original artwork.
- Embed the used fonts if the application provides that option.
- Aim to use the following fonts in your illustrations: Arial, Courier, Times New Roman, Symbol, or use fonts that look similar.
- Number the illustrations according to their sequence in the text.
- Use a logical naming convention for your artwork files.
- Provide captions to illustrations separately.
- Size the illustrations close to the desired dimensions of the published version.
- Submit each illustration as a separate file.

A detailed [guide on electronic artwork](#) is available.

You are urged to visit this site; some excerpts from the detailed information are given here.

Formats

If your electronic artwork is created in a Microsoft Office application (Word, PowerPoint, Excel) then please supply 'as is' in the native document format.

Regardless of the application used other than Microsoft Office, when your electronic artwork is finalized, please 'Save as' or convert the images to one of the following formats (note the resolution requirements for line drawings, halftones, and line/halftone combinations given below):

EPS (or PDF): Vector drawings, embed all used fonts.

TIFF (or JPEG): Color or grayscale photographs (halftones), keep to a minimum of 300 dpi.

TIFF (or JPEG): Bitmapped (pure black & white pixels) line drawings, keep to a minimum of 1000 dpi.

TIFF (or JPEG): Combinations bitmapped line/half-tone (color or grayscale), keep to a minimum of 500 dpi.

Please do not:

- Supply files that are optimized for screen use (e.g., GIF, BMP, PICT, WPG); these typically have a low number of pixels and limited set of colors;
- Supply files that are too low in resolution;
- Submit graphics that are disproportionately large for the content.

Color artwork

Please make sure that artwork files are in an acceptable format (TIFF (or JPEG), EPS (or PDF), or MS Office files) and with the correct resolution. If, together with your accepted article, you submit usable color figures then Elsevier will ensure, at no additional charge, that these figures will appear in color online (e.g., ScienceDirect and other sites) regardless of whether or not these illustrations are reproduced in color in the printed version. **For color reproduction in print, you will receive information regarding the costs from Elsevier after receipt of your accepted article.** Please indicate your preference for color: in print or online only. [Further information on the preparation of electronic artwork.](#)

Figure captions

Ensure that each illustration has a caption. Supply captions separately, not attached to the figure. A caption should comprise a brief title (**not** on the figure itself) and a description of the illustration. Keep text in the illustrations themselves to a minimum but explain all symbols and abbreviations used.

Tables

Please submit tables as editable text and not as images. Tables can be placed either next to the relevant text in the article, or on separate page(s) at the end. Number tables consecutively in accordance with their appearance in the text and place any table notes below the table body. Be sparing in the use of tables and ensure that the data presented in them do not duplicate results described elsewhere in the article. Please avoid using vertical rules and shading in table cells.

References

Citation in text

Please ensure that every reference cited in the text is also present in the reference list (and vice versa). Any references cited in the abstract must be given in full. Unpublished results and personal communications are not recommended in the reference list, but may be mentioned in the text. If these references are included in the reference list they should follow the standard reference style of the journal and should include a substitution of the publication date with either 'Unpublished results' or 'Personal communication'. Citation of a reference as 'in press' implies that the item has been accepted for publication.

Reference links

Increased discoverability of research and high quality peer review are ensured by online links to the sources cited. In order to allow us to create links to abstracting and indexing services, such as Scopus, CrossRef and PubMed, please ensure that data provided in the references are correct. Please note that incorrect surnames, journal/book titles, publication year and pagination may prevent link creation. When copying references, please be careful as they may already contain errors. Use of the DOI is encouraged.

A DOI can be used to cite and link to electronic articles where an article is in-press and full citation details are not yet known, but the article is available online. A DOI is guaranteed never to change, so you can use it as a permanent link to any electronic article. An example of a citation using DOI for an article not yet in an issue is: VanDecar J.C., Russo R.M., James D.E., Ambeh W.B., Franke M. (2003). Aseismic continuation of the Lesser Antilles slab beneath northeastern Venezuela. *Journal of Geophysical Research*, <https://doi.org/10.1029/2001JB000884>. Please note the format of such citations should be in the same style as all other references in the paper.

Web references

As a minimum, the full URL should be given and the date when the reference was last accessed. Any further information, if known (DOI, author names, dates, reference to a source publication, etc.), should also be given. Web references can be listed separately (e.g., after the reference list) under a different heading if desired, or can be included in the reference list.

Data references

This journal encourages you to cite underlying or relevant datasets in your manuscript by citing them in your text and including a data reference in your Reference List. Data references should include the following elements: author name(s), dataset title, data repository, version (where available), year, and global persistent identifier. Add [dataset] immediately before the reference so we can properly identify it as a data reference. The [dataset] identifier will not appear in your published article.

References in a special issue

Please ensure that the words 'this issue' are added to any references in the list (and any citations in the text) to other articles in the same Special Issue.

Reference management software

Most Elsevier journals have their reference template available in many of the most popular reference management software products. These include all products that support Citation Style Language styles, such as Mendeley and Zotero, as well as EndNote. Using the word processor plug-ins from these products, authors only need to select the appropriate journal template when preparing their article, after which citations and bibliographies will be automatically formatted in the journal's style. If no template is yet available for this journal, please follow the format of the sample references and citations as shown in this Guide.

Users of Mendeley Desktop can easily install the reference style for this journal by clicking the following link:

<http://open.mendeley.com/use-citation-style/agriculture-ecosystems-and-environment>

When preparing your manuscript, you will then be able to select this style using the Mendeley plug-ins for Microsoft Word or LibreOffice.

Reference style

Text: All citations in the text should refer to:

1. *Single author:* the author's name (without initials, unless there is ambiguity) and the year of publication;
2. *Two authors:* both authors' names and the year of publication;
3. *Three or more authors:* first author's name followed by 'et al.' and the year of publication.

Citations may be made directly (or parenthetically). Groups of references should be listed first alphabetically, then chronologically.

Examples: 'as demonstrated (Allan, 2000a, 2000b, 1999; Allan and Jones, 1999). Kramer et al. (2010) have recently shown ...'

List: References should be arranged first alphabetically and then further sorted chronologically if necessary. More than one reference from the same author(s) in the same year must be identified by the letters 'a', 'b', 'c', etc., placed after the year of publication.

Examples:

Reference to a journal publication:

Van der Geer, J., Hanraads, J.A.J., Lupton, R.A., 2010. The art of writing a scientific article. *J. Sci. Commun.* 163, 51–59.

Reference to a book:

Strunk Jr., W., White, E.B., 2000. *The Elements of Style*, fourth ed. Longman, New York.

Reference to a chapter in an edited book:

Mettam, G.R., Adams, L.B., 2009. How to prepare an electronic version of your article, in: Jones, B.S., Smith, R.Z. (Eds.), *Introduction to the Electronic Age*. E-Publishing Inc., New York, pp. 281–304.

Reference to a website:

Cancer Research UK, 1975. Cancer statistics reports for the UK. <http://www.cancerresearchuk.org/aboutcancer/statistics/cancerstatsreport/> (accessed 13.03.03).

Reference to a dataset:

[dataset] Oguro, M., Imahiro, S., Saito, S., Nakashizuka, T., 2015. Mortality data for Japanese oak wilt disease and surrounding forest compositions. *Mendeley Data*, v1. <https://doi.org/10.17632/xwj9nb39r1>.

Journal abbreviations source

Journal names should be abbreviated according to the [List of Title Word Abbreviations](#).

Video

Elsevier accepts video material and animation sequences to support and enhance your scientific research. Authors who have video or animation files that they wish to submit with their article are strongly encouraged to include links to these within the body of the article. This can be done in the same way as a figure or table by referring to the video or animation content and noting in the body text where it should be placed. All submitted files should be properly labeled so that they directly relate to the video file's content. In order to ensure that your video or animation material is directly usable, please provide the files in one of our recommended file formats with a preferred maximum size of 150 MB. Video and animation files supplied will be published online in the electronic version of your article in Elsevier Web products, including ScienceDirect. Please supply 'stills' with your files: you can choose any frame from the video or animation or make a separate image. These will be used instead of standard icons and will personalize the link to your video data. For more detailed instructions please visit our [video instruction pages](#). Note: since video and animation cannot be embedded in the print version of the journal, please provide text for both the electronic and the print version for the portions of the article that refer to this content.

Supplementary material

Supplementary material such as applications, images and sound clips, can be published with your article to enhance it. Submitted supplementary items are published exactly as they are received (Excel or PowerPoint files will appear as such online). Please submit your material together with the article and supply a concise, descriptive caption for each supplementary file. If you wish to make changes to supplementary material during any stage of the process, please make sure to provide an updated file. Do not annotate any corrections on a previous version. Please switch off the 'Track Changes' option in Microsoft Office files as these will appear in the published version.

ARTICLE ENRICHMENTS

AudioSlides

The journal encourages authors to create an AudioSlides presentation with their published article. AudioSlides are brief, webinar-style presentations that are shown next to the online article on ScienceDirect. This gives authors the opportunity to summarize their research in their own words and to help readers understand what the paper is about. [More information and examples are available](#). Authors of this journal will automatically receive an invitation e-mail to create an AudioSlides presentation after acceptance of their paper.

Google Maps and KML files

KML (Keyhole Markup Language) files (optional): You can enrich your online articles by providing KML or KMZ files which will be visualized using Google maps. The KML or KMZ files can be uploaded in our online submission system. KML is an XML schema for expressing geographic annotation and visualization within Internet-based Earth browsers. Elsevier will generate Google Maps from the submitted KML files and include these in the article when published online. Submitted KML files will also be available for downloading from your online article on ScienceDirect. [More information](#).

Interactive plots

This journal enables you to show an Interactive Plot with your article by simply submitting a data file. [Full instructions](#).

AFTER ACCEPTANCE**Online proof correction**

Corresponding authors will receive an e-mail with a link to our online proofing system, allowing annotation and correction of proofs online. The environment is similar to MS Word: in addition to editing text, you can also comment on figures/tables and answer questions from the Copy Editor. Web-based proofing provides a faster and less error-prone process by allowing you to directly type your corrections, eliminating the potential introduction of errors.

If preferred, you can still choose to annotate and upload your edits on the PDF version. All instructions for proofing will be given in the e-mail we send to authors, including alternative methods to the online version and PDF.

We will do everything possible to get your article published quickly and accurately. Please use this proof only for checking the typesetting, editing, completeness and correctness of the text, tables and figures. Significant changes to the article as accepted for publication will only be considered at this stage with permission from the Editor. It is important to ensure that all corrections are sent back to us in one communication. Please check carefully before replying, as inclusion of any subsequent corrections cannot be guaranteed. Proofreading is solely your responsibility.

Offprints

The corresponding author will, at no cost, receive a customized [Share Link](#) providing 50 days free access to the final published version of the article on [ScienceDirect](#). The Share Link can be used for sharing the article via any communication channel, including email and social media. For an extra charge, paper offprints can be ordered via the offprint order form which is sent once the article is accepted for publication. Both corresponding and co-authors may order offprints at any time via Elsevier's [Webshop](#). Corresponding authors who have published their article open access do not receive a Share Link as their final published version of the article is available open access on ScienceDirect and can be shared through the article DOI link.

AUTHOR INQUIRIES

Visit the [Elsevier Support Center](#) to find the answers you need. Here you will find everything from [Frequently Asked Questions](#) to ways to get in touch.

You can also check the status of your submitted article or find out when your accepted article will be published.

Apêndice 2. Normas para elaboração submissão de trabalhos científicos à revista Biogeosciences.

Manuscript preparation guidelines for authors

The following sections provide guidelines on how to prepare and compose your manuscript. Please follow these standards to ensure a smooth peer-review and production process. When preparing your manuscript, please also refer to the [manuscript-type-specific guidelines](#). If you or your institute plans a press release or some other promotional work on your paper, please inform Media and Communications at Copernicus (media@copernicus.org) and at EGU (Bárbara Ferreira, media@egu.eu) before. We may be able to assist you and help distribute your work further.

Technical instructions for LaTeX



Please download the Copernicus Publications LaTeX Package to prepare your manuscript. The package contains the LaTeX2e class file, the configuration file, all needed style files, as well as a template serving as the framework for your manuscript. Please download the Copernicus Publications [LaTeX Package](#), version 4.6, 27 June 2017.

Authors are kindly requested to make use of the template.tex file embedded in the LaTeX Package since most of the definitions for the structure of manuscript elements are described there. Since we convert all typeset TeX files into XML, the expressions and markups have to be highly standardized. Therefore, please keep the following in mind:

- Please provide only one figure file for figures with several panels, and please do not use `\subfloat` or similar commands.
- Please use only commands in which words, numbers, etc. are within braces (e.g. `\textrm{TEXT}` instead of `{\rm TEXT}`).
- For algorithms, please use the syntax given in template.tex or provide your algorithm as a figure.
- Please do not define new commands.
- The most commonly used packages (`\usepackage{}`) are integrated in the copernicus.cls. Some other packages often used by the community are defined in template.tex. Please do not insert additional ones in your *.tex file.
- Spaces in labels (`\label{}`) are not allowed; please make sure that no label name is assigned more than once.
- Please do not use `\paragraph{}`; only `\subsubsection{}` is allowed.
- It is not possible to add tables in colour.

If you are familiar with BibTeX, you can use copernicus.bst from the package. It will sort your bibliography entries alphabetically and produce the proper layout of the reference list.

Technical instructions for MS Word and compatible formats

To prepare your manuscript in a format compatible with MS Word (*.doc, *.docx, or *.rtf), please use the Copernicus Publications [Word template](#) (docx). **Please use the Microsoft equation editor and not the graphic mode when compiling your equations.**

Manuscript composition

For the review process a *.pdf file of the complete manuscript is required following the standards for sectioning and structure (see below). Tables and figures should be included in the text. All pages must be numbered consecutively and line numbers must be included.

- **Sectioning and structure:**

1. Title page
2. Abstract
3. Copyright statement
4. Introduction
5. Sections
6. Conclusions
7. Code availability
8. Data availability
9. Sample availability
10. Appendices
11. Supplement link (will be included by Copernicus)
12. Team list
13. Author contribution
14. Competing interests
15. Disclaimer
16. Special issue statement
17. Acknowledgements
18. References

- **Title page:** Title (concise but informative), author first and last names, full institutional addresses of all authors, correspondence email for proofs.

- **Abstract:** The abstract should be intelligible to the general reader without reference to the text. After a brief introduction of the topic, the summary recapitulates the key points of the article and mentions possible directions for prospective research. Reference citations should not be included in this section, unless urgently required, and abbreviations should not be included without explanations.

- **Sections:** The headings of all sections, including introduction, results, discussions or summary must be numbered. Three levels of sectioning are allowed, e.g. 3, 3.1, and 3.1.1. The abbreviation "Sect." should be used when it appears in running text and should be followed by a number unless it comes at the beginning of a sentence.

- **Footnotes:** These should be avoided, as they tend to disrupt the flow of the text. If absolutely necessary, they should be numbered consecutively. Footnotes to tables should be marked by lowercase letters.

- **Equations:** They should be referred to by the abbreviation "Eq." and the respective number in parentheses, e.g. "Eq. (14)". However, when the reference comes at the beginning of a sentence, the unabbreviated word "Equation" should be used, e.g.: "Equation (14) is very important for the results; however, Eq. (15) makes it clear that..."

- **Figure composition:** It is important for the production process that separate figures are submitted. Composite figures containing multiple panels should be collected into one file before submission. The figures should be labelled correctly with Arabic numerals (e.g. fig01, fig02). They can be submitted in *.pdf, *.ps, *.eps, *.jpg, *.png, or *.tif format and should have a resolution of 300 dpi. The width should not be less than 8 cm. A legend should clarify all symbols used and should appear in the figure itself, rather than verbal explanations in the captions (e.g. "dashed line" or "open green circles").

Tips for producing high-quality line graphics:

1. The first choice should be vector graphics in *.eps or *.pdf format. Fonts must be embedded. Please make sure that the *.pdf files do not contain hidden objects. If

you want to adjust fonts in your original figure file before converting into *.pdf, please make sure that you change the actual font of the original figure rather than adding text boxes or other additional layers.

2. Please use only one font family in your figures (e.g. Arial or Times). Keep in mind that the usage of regular, italic, bold, and bold-italic of one font family already leads to four different fonts that must be embedded or adjusted by our image processors in case of text corrections within figures.

3. If the processing of your vector figures requires an exceptional amount of time due to multiple fonts or hidden objects, we reserve the right to convert your *.eps or *.pdf figures into *.png files for the further production process.

4. If the usage of vector graphics is not possible, a bitmap image should be saved in a "non-lossy" format (e.g. *.png). A high quality is recommended. It is always possible to reduce the size of the figure later.

5. The *.jpg format should only be used for photos. It is not suitable for sharp edges. Note that it is not advisable to convert a *.jpg file back to *.png. If *.jpg files must be used please save them with high quality.

6. If you are not able to fulfil the above-mentioned criteria, it is also possible to submit figures produced with Excel, PowerPoint, Word, Photoshop, Illustrator, or InDesign in the original file format. Our image processors will then produce the figures from these source files.

7. For maps and charts, please keep colour blindness in mind and avoid the parallel usage of green and red. For a list of colour scales that are illegible to a significant number of readers, please visit [ColorBrewer 2.0](#).

The abbreviation "Fig." should be used when it appears in running text and should be followed by a number unless it comes at the beginning of a sentence, e.g.: "The results are depicted in Fig. 5. Figure 9 reveals that..."

▪ **Figure content guidelines:** In order to facilitate consistency with our language and typesetting guidelines applied to the text of the manuscript, please keep the following in mind when producing your figures:

1. Labels of panels must be included with brackets around letters being lower case (e.g. (a), (b), etc.).

2. Ranges need an en dash and no spaces between start and end (e.g. 1–10, Jan–Feb).

3. Coordinates need a degree sign and a space when naming the direction (e.g. 30° N, 25° E).

4. Spaces must be included between number and unit (e.g. 1 %, 1 m).

5. Units must be written exponentially (e.g. W m⁻²).

6. Common abbreviations to be applied: hour as h (not hr), kilometre as km, metre as m.

7. Capitalization: only the first word is capitalized in headers (in addition to proper nouns). More guidelines are provided in section English guidelines and house standards.

8. **Maps:** please adhere to United Nations naming conventions for maps used in your manuscript. In order to depoliticize scientific articles, authors should avoid the drawing of borders or use of contested topographical names. The editors reserve the right to insert the label "under dispute" if contested borders are presented.

▪ **Figure captions:** Each illustration should have a concise but descriptive caption. The abbreviations used in the figure must be defined, unless they are common abbreviations or have already been defined in the text. Figure captions should be included in the text file and not in the figure files.

- **File size:** Authors are kindly asked to find the best balance between the quality of figures and submitted material on the one hand, and a manageable file size on the other hand. Individual figures in the *.pdf format should not exceed 2 MB, file types other than *.pdf should not exceed 5 MB per figure, and the overall size of all submitted files, excluding supplements, should not exceed 30 MB.
- **Plot data:** Authors are encouraged to put the data needed to create the plots, which are included in the manuscript, in a supplement to the published article (see below). Then, reviewers and readers are able to reproduce the plots.
- **Tables:** Any tables should appear on separate sheets after the references and should be numbered sequentially with Arabic numerals. For the production of the accepted manuscript, they should be submitted as MS WORD or included in the LaTeX file. Tables submitted as a PDF or an image file cannot be processed. Tables should be self-explanatory and include a concise, yet sufficiently descriptive caption. Horizontal lines should normally only appear above and below the table, and as a separator between the head and the main body of the table. Vertical lines must be avoided. Please note that the word "Table" is never abbreviated and should be capitalized when followed by a number (e.g. Table 4).
- **Data sets:** Authors are requested to follow our [data policy](#) including the deposit of data that correspond to journal articles in reliable data repositories, the assignment of digital object identifiers, and the proper citation of a data set. Authors are required to provide a statement on how their underlying research data can be accessed. This must be placed as the section "Data availability" at the end of the manuscript before the acknowledgements. If the data are not publicly accessible, a detailed explanation of why this is the case is required.
- **Sample availability:** if geoscientific samples which are registered as International Geo Sample Number ([IGSN](#)) have been used for the manuscript, authors are required to include the IGSN in the reference list, cite it in the article, and provide a statement on how to access the sample by adding a section "Sample availability" to the manuscript.
- **Appendices:** These should be labelled with capital letters: Appendix A, Appendix B etc. Equations, figures and tables should be numbered as (A1), Fig. B5 or Table C6, respectively. Please keep in mind that appendices are part of the manuscript whereas supplements (see below) are published along with the manuscript.
- **Supplement:**
 1. Authors have the opportunity to submit supplementary material with their manuscript, such as additional figures and tables, plot data, movies, animations, highly detailed and specific technical information, such as computer programme code, user manuals, maps, very large images, etc.
 2. The supplement **shall contain only complementary information** but no scientific interpretations or findings/messages that would go beyond the contents of the manuscript.
 3. Supplements will receive their own DOI (digital object identifier) and will be published online along with the article as *.zip archive or single *.pdf file.
 4. Supplements will receive a title page added during the publication process including title ("Supplement of"), authors, and the correspondence email. Therefore, please avoid providing this information in the supplement.
 5. Equations, figures and tables in supplements should be numbered as (S1), Fig. S5 or Table S6. Sections are numbered as S3, S3.1, and S3.1.1.
 6. **The overall file size of a supplement is limited to 50 MB.** Authors of larger supplements are kindly asked to submit their files to a reliable data repository and to insert a link in the manuscript. Ideally, this linkage is realized through DOIs.
 - **Author contribution:** Authors are encouraged to add a section "Author contribution" before the acknowledgements in which the contributions of all co-authors are

briefly described. Example: AA and BB designed the experiments and CC carried them out. DD developed the model code and performed the simulations. AA prepared the manuscript with contributions from all co-authors.

- **Competing interests:** Declaration of all potential conflicts of interest is required by Copernicus Publications as this is an integral aspect of a transparent record of scientific work. Please see our [competing interests policy](#).

1. If there are no competing interests in their submitted manuscripts, authors should state: "The authors declare that they have no conflict of interest."

2. If there are possible conflicts of interest, authors must state what competing interests are relevant to the submitted work: "Author A is a member of the editorial board of the journal. Author B has received research funding from Company Y. Author C is a member of committee Z."

- **Review criteria:** While preparing their manuscript, authors are kindly requested to consider the manuscript [review criteria](#) to meet the quality standards and to reduce the peer-review processing time.

References

Papers should make proper and sufficient reference to the relevant formal literature.

Informal or so-called "grey" literature may only be referred to if there is no alternative from the formal literature. Works cited in a manuscript should be accepted for publication or published already. These references have to be listed **alphabetically** at the end of the manuscript under the **first author's name**. Works "submitted to", "in preparation", "in review", or only available as preprint should also be included in the reference list. Please do not use bold or italic writing for in-text citations or in the reference list.

Please supply the full author list with last name followed by initials. After the list of authors, the complete reference title needs to be named. Journal names are abbreviated according to the [ISI Journal Title Abbreviations Index](#), followed by the volume number, the complete page numbers (first and last page) and the publication year. If the abbreviation of a journal name is not known, please use the full title. In addition to journal articles, all reference types are summarized together with examples in the [Copernicus Publications Reference Types](#) list.

If there is more than one work by the **same first author**, his/her papers are listed in the following order: (1) single author papers (first author), followed by (2) co-author papers (first author and second author), and finally (3) team papers (first author et al.). Within these three categories the respective papers are then listed as follows:

- **Single author papers:** chronologically, beginning with the oldest. If there is more than one paper in the same year, a letter (a, b, c) is added to the year, both in the in-text citation as well as in the reference list.

- **Co-author papers:** first alphabetically according to the second author's last name, and then chronologically within each set of co-authors. If there is more than one paper in the same year per set of co-authors, a letter (a, b, c) is added to the year both in the in-text citation as well as in the reference list.

- **Team papers:** first chronologically (beginning with the oldest), independent of the team author names, then alphabetically within each year according to the second (third, etc.) author. If there is more than one paper in the same year for a first author (independent of the team), a letter (a, b, c) is added to the year both in the in-text citation as well as in the reference list.

In terms of in-text citations, the order can be based on relevance, as well as chronological or alphabetical listing, depending on the author's preference.

Examples for reference sorting

In general, in-text citations can be displayed as "[...] Smith (2009) [...]", or "[...] (Smith, 2009) [...]".

Reference List**Short Citation****Single author: chronologically**

Smith, P.: ..., 2009.

Smith, 2009

Smith, P.: ..., 2010a.

Smith, 2010a

Smith, P.: ..., 2010b.

Smith, 2010b

Co-authors: alphabetically before chronologically

Smith, P. and Brown, P.: ..., 2010.

Smith and Brown, 2010

Smith, P. and Carter, T.: ..., 2007.

Smith and Carter, 2007

Smith, P. and Carter, T.: ..., 2010a.

Smith and Carter, 2010a

Smith, P. and Carter, T.: ..., 2010b.

Smith and Carter, 2010b

Smith, P. and Thomson, A.: ..., 2005.

Smith and Thomson, 2005

Team: chronologically before alphabetically

Smith, P., Thomson, A., and Carter, T.: ..., 2006.

Smith et al., 2006

Smith, P., Carter, T., and Hanson, M. B.: ..., 2008a.

Smith et al., 2008a

Smith, P., Carter, T., and Walter, N.: ..., 2008b.

Smith et al., 2008b

Smith, P., Carter, T., and Hanson, M. B.: ..., 2009.

Smith et al., 2009

Smith, P., Brown, P., and Walter, N.: ..., 2010.

Smith et al., 2010

Please do not use bold or italic writing in the reference list or for in-text citations.

Downloads

- [Copernicus Publications Reference Types](#)
- [EndNote® Output Style File](#)
- [Bibtex Bibliographic Style File](#)

English guidelines and house standards

The following aims to provide guidelines for authors on how to compose their manuscript with regards to conventions of English. Please note that the copy editor is responsible for applying these guidelines in addition to checking the grammar and punctuation of each manuscript (see [English copy-editing services](#) for more information). However, assistance from the author will expedite the production process.

- **Variety of English:** We accept all standard varieties of English in order to retain the author's voice. However, the variety should be consistent within each article. When using Oxford spellings, please do so consistently. For example, if "characterize" is spelled as such, then the -z- variant should be used for all such words throughout the article. The use (or lack thereof) of the Oxford (serial) comma should also be consistent. Authors will be prompted to select an English variety when they upload the final revised version of the manuscript. The copy editor will then ensure that the variety is consistent.
- **Spelling:** We recommend consulting one of the following dictionaries: [Oxford](#), [Cambridge](#), [Merriam-Webster](#), or [Collins](#). Where appropriate, use the anglicized version of place names (e.g. Zurich, Rome, Munich). Names that have been transliterated into English often have numerous spelling variants. For geographical locations, we consult *The Times Atlas of the World* for the most commonly used spelling. Please ensure

that foreign names have the appropriate diacritics (e.g. accents, umlauts). In accordance with IUPAC, it is our house standard to use the -f- spelling for sulfur (instead of sulphur) and related words for all varieties of English.

- **Abbreviations**

- Abbreviations should be avoided in the title, depending on the length and familiarity of abbreviation.
- They need to be defined in the abstract and then again at the first instance in the rest of the text. In order to avoid ambiguity, abbreviations that could have numerous meanings must be defined (e.g. "GCM" could stand for "global climate model" or "general circulation model"). This generally does not apply to abbreviations that are better known than their written-out form (e.g. NASA, GPS, GIS, MODIS).
- Units do not need to be defined.
- Please note that most abbreviations in the plural are followed by the suffix -s (e.g. GCMs, RMSEs), although there are some exceptions (e.g. CCN, ECMWF).
- Ma and My (also Ga, ka; Gy, ky): "Ma" stands for "mega-annum" and literally means millions of years ago, thus referring to a specific time/date in the past as measured from now. "Mya" likewise means (and stands for) millions of years ago. In contrast, "My" (and "Myr" as an equivalent alternative) stands for millions of years and is used in reference to duration (CSE, p. 398; North American commission on stratigraphic nomenclature).

- **Capitalization**

- Titles and headings follow sentence-style capitalization (i.e. first word and proper nouns only).
- Proper nouns should be capitalized. A proper noun refers to a unique entity. If there is more than one of the item in question, it is probably not a proper noun and should not be capitalized. A capitalized abbreviation does not necessarily warrant the capitalization of the written-out form. For example "LAI" is capitalized, but "leaf area index" is not. Non-standard usage of capitalization is only acceptable for proper nouns (e.g. "SCanning Imaging Absorption spectroMeter for Atmospheric CHartography" as the written-out form of "SCIAMACHY").
- The capitalization of the term "earth" is disputed and based on subjective criteria. Please simply ensure that the capitalization (or lack thereof) is consistent.
- Cardinal directions should only be capitalized when part of a proper noun (e.g. South Dakota, Northern Ireland, North America, but eastern France). If you are unsure, consult an atlas.
- Capitalize generic geographic terms, such as "river", when they are part of a place name, but do not capitalize the generic term when it appears on its own, when it follows a capitalized generic term, or when it is in the plural (e.g. Mississippi River, Mississippi River basin, Mississippi and Missouri rivers).
- Capitalize taxonomic ranks genus and higher.
- "Early", "middle", and "late" are capitalized only when part of the formal name but lower-cased when used as modifiers of formal names (e.g. Early Jurassic, early Miocene, late Holocene). This applies to "upper", "middle", and "lower" as well. For more information, we recommend consulting the [International Commission on Stratigraphy](#) and [Geological Society of America](#).

- **Italicization**

- Italic font may be used for emphasis, although this should be used sparingly (e.g. data were *almost* consistent).
- Foreign words, phrases, and abbreviations that cannot be found in any English dictionary (this does not apply to proper nouns) are italicized. Common Latin phrases

are not italicized (for example, et al., cf., e.g., a priori, in situ, bremsstrahlung, and eigenvalue).

- Ship names are italic, but their prefixes are roman (e.g. RV *Polarstern*).
- Genus and species names are italic; high-order taxonomic ranks are roman.
- When mentioned in running text, the names of books, journals, pamphlets, magazines, and newspapers are italicized.

▪ **Numbers**

- For items other than units of time or measure, use words for cardinal numbers less than 10; use numerals for 10 and above (e.g. three flasks, seven trees, 6m, 9 days, 10 desks).
- Spell out ordinals "first" to "ninth".
- Use numerals with units and expressions when used in a scientific or mathematical sense (e.g. increased 2-fold, 1 standard deviation, 3 orders of magnitude, 2 times the height (but the beaker was rinsed two times), a factor of 3).
- Spell out numbers when they begin a sentence or when the sentence cannot be reformulated.
- For very large numbers, use a combination of numerals and words (e.g. 1 billion people).
- Use all numerals in a series or range containing numbers 10 or greater (e.g. 5, 7, and 13 experiments) or in a parallel construction.
- Use words for instances such as "tens of millennia" and "non-zero".
- Spell out and hyphenate fractions in which the numerator and denominator are both less than 10 (e.g. two-thirds).

▪ **Hyphens**

- Do not use hyphens between an adverb ending in -ly and the word it is modifying (e.g. "statistically based results", not "statistically-based results").
- Latin phrases should not be hyphenated (e.g. "in situ", not "in-situ").
- It is our house standard not to hyphenate modifiers containing abbreviated units (e.g. "3-m stick" should be "3m stick"). This also applies to the other side of the hyphenated term (e.g. "3m long rope", not "3-m-long rope").
- **En dashes (–)** are longer than hyphens (-) and serve numerous purposes. Please note that we use spaced en dashes for syntactic constructions, not em dashes (—). En dashes are used to indicate, among other things, relationships (e.g. ocean–atmosphere exchange), ranges (e.g. 12–20 months), and components of a mixture (e.g. dissolved in 5:1 glycerin–water). They are also used to link the names of two or more persons used as a modifier (e.g. Stefan–Boltzmann constant).

▪ **Quotes**

- Use double quotation marks in all instances, unless quotation marks are also required within material surrounded by double quotation marks.
- In these intra-quotation-mark instances, single quotation marks are used. Please note that quoted material should be punctuated with quotation marks but not italicized.
- In quotations from printed sources, the spelling, capitalization, and punctuation should normally follow the original.
- Quotations can also be used to denote an unfamiliar or newly coined term or phrase. They may also be used to introduce a term but only once at the first instance.
- It is our house standard to position commas and periods outside the end quotation marks.

- The following titles should be surrounded by quotation marks in running text: journal articles, book chapters, and series titles (special issues).

Author's response

The author's response should be structured in a clear and easy-to-follow sequence: **(1) comments from referees/public, (2) author's response, and (3) author's changes in manuscript**. Regarding author's changes, a marked-up manuscript version (track changes in Word, latexdiff in LaTeX) converted into a *.pdf including the author's response must be submitted.

VITA

William de Souza Filho, filho de Maria Bernadete Silva de Souza e William de Souza, nasceu no dia 21 de maio de 1986, em Imperatriz, Maranhão. Viveu a vida toda em Belém do Pará. Em 2003, ingressou no curso de Zootecnia da Universidade Federal Rural do Pará (UFRA), onde, de imediato, iniciou suas atividades de iniciação científica, então como voluntário, no Laboratório de Análises de Alimento, sob orientação das professoras Elysabeth da Cruz Cardoso e Geane Gonçalves, onde trabalhou por dois anos como bolsista CNPq de iniciação científica, com a temática utilização de subprodutos para alimentação de bubalinos. Graduiu em 2007 e trabalhou com bubalinocultura durante 2 anos. Em março de 2009, deu início ao curso de Mestrado em Ciência Animal na Universidade Federal do Pará (UFPA), sob orientação do Prof. Dr. Thiago Bernardes. Após finalizar o mestrado em 2011, iniciou seu trabalho na EMBRAPA, sob supervisão da Dra. Lucietta Martorano na área de Agrometeorologia como bolsista de produção científica. Em março de 2013, iniciou seu Doutorado na Universidade Federal do Rio Grande do Sul sob orientação do Prof.Dr. Paulo César de Faccio Carvalho. Em julho de 2015 partiu para o Doutorado Sanduiche no Instituto de Pesquisa em Agronomia, Inra-Lusignan/França, onde trabalhou com Ecofisiologia de leguminosas mantendo-se a pasta de mudanças climáticas relacionadas a agropecuária. Foi submetido a banca de defesa de Doutorado em 2017.