

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**RESPOSTA PRODUTIVA DO CAPIM-MASSAI E FLUXO DE
GASES DO SOLO EM SISTEMA SILVIPASTORIL COM
APLICAÇÃO DE BIOESTIMULANTE FOLIAR**

Mariane Rodrigues Ferreira

Zootecnista

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**RESPOSTA PRODUTIVA DO CAPIM-MASSAI E FLUXO DE
GASES EM SISTEMA SILVIPASTORIL COM APLICAÇÃO DE
BIOESTIMULANTE FOLIAR**

Discente: Mariane Rodrigues Ferreira

Orientadora: Profa. Dra. Ana Cláudia Ruggieri

Coorientador: Dr. Abmael da Silva Cardoso

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

F383r Ferreira, Mariane Rodrigues

Resposta produtiva do capim-massai e fluxo de gases do solo em sistema silvipastoril com a aplicação de bioestimulante foliar / Mariane Rodrigues Ferreira. -- Jaboticabal, 2021

75 p.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientadora: Ana Cláudia Ruggieri

1. Pastagens. 2. Sistema silvipastoril. 3. Metano. 4. Óxido Nitroso.

I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: RESPOSTA PRODUTIVA DO CAPIM-MASSAI E FLUXO DE GASES DO SOLO EM SISTEMA SILVIPASTORIL COM APLICAÇÃO DE BIOESTIMULANTE FOLIAR

AUTORA: MARIANE RODRIGUES FERREIRA

ORIENTADORA: ANA CLÁUDIA RUGGIERI

COORIENTADOR: ABMAEL DA SILVA CARDOSO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em ZOOTECNIA, pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. ANA CLÁUDIA RUGGIERI (Participação Virtual)
Departamento de Zootecnia / FCAV UNESP Jaboticabal

Profa. Dra. JANAINA AZEVEDO MARTUSCELLO (Participação Virtual)
Departamento de Zootecnia / Universidade Federal de São João Del-Rei - Sao Joao Del Rei/MG

Profa. Dra. ALDA LUCIA GOMES MONTEIRO (Participação Virtual)
Departamento de Zootecnia-Universidade Federal do Paraná/UFPR / Curitiba/PR

Pós-Doutoranda VANESSA ZIRONDI LONGHINI (Participação Virtual)
Departamento de Zootecnia / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Pós-doutoranda LIZIANE DE FIGUEIREDO BRITO (Participação Virtual)
Departamento de Zootecnia / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 06 de outubro de 2021

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

MARIANE RODRIGUES FERREIRA – nascida em 16 de maio de 1991 no município de Candeias, Minas Gerais. Iniciou o curso de graduação em Zootecnia na Universidade Federal de São João del Rei (UFSJ, São João del Rei, MG), em março de 2010. Durante a graduação foi bolsista de iniciação científica e participou da coordenação do grupo de estudos em Forragicultura e Pastagem, ambos sob orientação da Profa. Dra. Janaina Azevedo Martuscello. Em fevereiro de 2015 colou grau em Zootecnia e em março do mesmo ano ingressou no Mestrado em Zootecnia, com bolsa de estudos Capes, na Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM, Câmpus de Diamantina, MG), onde desenvolveu estudos na área de Forragicultura e Pastagem sob orientação do Prof. Dr. Thiago Gomes dos Santos Braz, recebeu título de Mestra em Zootecnia em fevereiro de 2017. Em agosto do mesmo ano iniciou o Doutorado em Zootecnia na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV/Unesp, Câmpus de Jaboticabal, SP), com bolsa de estudo CNPq, na área de Forragicultura e Pastagem sob orientação da Profa. Dra. Ana Cláudia Ruggieri e coorientação do Dr. Abmael da Silva Cardoso.

Epígrafe

*“Nunca, jamais desanimeis, embora
venham ventos contrários.”*

Santa Paulina

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por guiar meu caminho, por sempre atender meus pedidos e me proporcionar calma, tranquilidade e paciência quando mais precisei.

À minha mãe, Rosária, por todas as orações. Ao meu pai José Airto (*in memoriam*) que sempre acreditou que este dia chegaria. A vocês serei eternamente grata por todo amor, afeto e incentivo. Por sempre acreditarem e confiarem em mim. Vocês são exemplos de honestidade e bondade.

À minha irmã, Ariane, pela cumplicidade e amizade.

As minhas sobrinhas, Lorena e Cecília, por darem vida à nossa família. Vocês são o grande motivo para seguirmos em frente. A titia ama muito vocês!

A todos os meus familiares que me apoiaram durante essa trajetória. Em especial ao meu cunhado Átila, ao tio Daniel e ao meu primo Luiz Paulo, pelas várias vezes que se dispuseram a me buscar em outras cidades.

À Ana Cláudia Ruggieri, minha querida orientadora, pela oportunidade, pelas conversas e todo conhecimento transmitido, pela paciência e o apoio durante esses anos. Sou grata pela senhora ter contribuído tanto para meu crescimento pessoal e profissional.

Ao meu coorientador, Dr. Abmael da Silva Cardoso, pela ajuda, ensinamentos, disponibilidade, conselhos e pela amizade. Os contratempos ao longo do doutorado eram minimizados pelo seu otimismo.

À minha eterna orientadora, Janaina Martuscello, por me apresentar ao meio científico. Pela amizade, carinho e apoio incondicionais. Pelos momentos de descontração, pelos conselhos e incentivo. Obrigada por me mostrar que sou capaz e que precisamos seguir em frente e nunca desistir.

A todos os estagiários e TT3 do Setor de Forragicultura e Pastagem e a toda equipe do Prof. Ricardo Reis pela amizade, descontração e disposição para ajudar sempre que necessário. Sem vocês a condução dos experimentos seria impossível.

À Supervisão das Fazendas de Ensino, Pesquisa e Extensão da FCAV/Unesp – Campus de Jaboticabal e a todos os funcionários, principalmente ao Adeir, Caco, Ferreirinha, Júlio, Juninho, Michael, Renato, Tião e Uanderson por toda ajuda e por não medirem esforços para me socorrer quando as vacas resolviam quebrar tudo.

À Ana Paula e ao senhor Orlando, responsáveis pelo Laboratório de Nutrição Animal (LANA), por todo auxílio nas análises, pelos momentos de descontração e pela amizade estabelecida. Os dias no laboratório eram prazerosos junto com vocês.

Aos meus amigos da pós-graduação, Andressa, Ariana, Carol, Débora, Francisco, Geovany, Gilmar, Marina, Naura, Thaís e Vanessa por toda ajuda e companheirismo. Quando se tem amigos o caminho se torna mais leve e prazeroso.

As minhas queridas amigas Ana Laura, Jordana, Natália e Vanessa que tanto me dão apoio, atenção e carinho independente da situação. Que nossa amizade perdure e que a distância não atrapalhe nosso reencontro. Obrigada por tanto. A todos os amigos que fiz em Jaboticabal-SP durante esses 4 anos, em especial ao bar do Vando (Calisto, Diandro, Jordana, Nicole, Tatiane e Thaís), André, Fernanda, Jarlyson, Maynumi, Matheus e Ricardo. Vocês são sensacionais.

As minhas amigas e companheiras, Ana Flávia, Ana Laura, Ana Paula, Isabela, Jordana, Mariele e Samira com quem tive o prazer de dividir despesas, experiências, conhecimento, alegrias e tristezas. Juntas, fizemos de um apartamento, um lar. O carinho, cuidado e acolhimento de umas com as outras nos fizeram família. Que não falte oportunidade para nos reencontrarmos.

À Carminha e Laura, que me receberam de braços e coração abertos e fizeram com que eu me sentisse em casa com tanta rapidez e naturalidade. A Mariane, Maristela e Milena pela amizade estabelecida e pelos momentos de descontração. Vou sentir muita falta dos domingos de “golo”.

Aos meus inestimáveis amigos de Candeias-MG que, mesmo distantes, nunca se fizeram ausentes.

À Yara Brasil Fertilizantes por disponibilizar um de seus produtos (BIOTRAC®) para realização desta pesquisa.

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV/UNESP – Jaboticabal e ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, pela oportunidade de cursar o doutorado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pela bolsa de estudos.

Por fim, a todos que de alguma forma contribuíram para que eu chegasse até aqui. A todos vocês os meus mais sinceros agradecimentos!

SUMÁRIO

	Página
CAPÍTULO 1 - Considerações gerais.....	1
1. Introdução	1
2. Revisão de literatura.....	2
2.1 Sistema silvipastoril.....	2
2.2 Estádios de desenvolvimento	5
2.3 Bioestimulantes.....	6
2.4 Gases de efeito estufa	8
3 Referências.....	11
CAPÍTULO 2 – Características nutricionais e massa de forragem do capim-massai em diferentes estádios de desenvolvimento e sistemas de produção .	20
1. Introdução	21
2. Material e Métodos.....	22
3. Resultados	30
4. Discussão.....	36
5. Conclusão	39
CAPÍTULO 3 – Fluxos de CH₄ e N₂O em pastos de capim-massai em sistema silvipastoril com aplicação de bioestimulante foliar	45
1. Introdução	46
2. Material e métodos	47
3 Resultados	54
4. Discussão	65
5. Conclusão	69
6. Referências bibliográficas	70

CEUA



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Câmpus de Jaboticabal



CEUA – COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS

CERTIFICADO

Certificamos que o projeto de pesquisa intitulado "Emissão de gases de efeito estufa, produção de forragem, valor nutritivo e características nutricionais do capim-massai em sistema silvipastoril com aplicação de bioestimulante", protocolo nº 015544/18, sob a responsabilidade da Prof.^a Dr.^a Ana Cláudia Ruggieri, que envolve a produção, manutenção e/ou utilização de animais pertencentes ao Filo Chordata, subfilo Vertebrata (exceto o homem), para fins de pesquisa científica (ou ensino) - encontra-se de acordo com os preceitos da lei nº 11.794, de 08 de outubro de 2008, no decreto 6.899, de 15 de julho de 2009, e com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal (CONCEA), e foi aprovado pela COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS (CEUA), da FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS, UNESP - CÂMPUS DE JABOTICABAL-SP, em reunião ordinária de 08 de novembro de 2018.

Vigência do Projeto	12/11/2018 a 01/09/2020
Especie / Linhagem	Bovino / Holandês
Nº de animais	12
Peso / Idade	200 kg
Sexo	Fêmeas
Origem	Setor de Bovinocultura de Leite da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Unesp/Jaboticabal

Jaboticabal, 08 de novembro de 2018.

Fabiana Pilarski
Prof.^a Dr.^a Fabiana Pilarski
Coordenadora – CEUA

Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias
Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n CEP 14884-900 - Jaboticabal/SP - Brasil
tel 16 3209 7100 - www.fcav.unesp.br

RESPOSTA PRODUTIVA DO CAPIM-MASSAI E FLUXO DE GASES EM SISTEMA SILVIPASTORIL COM APLICAÇÃO DE BIOESTIMULANTE FOLIAR

RESUMO – O uso de componentes arbóreos em sistemas de pastagens tem sido utilizado para trazer diversos benefícios ao componente solo-planta-animal, podendo alterar o valor nutricional das forragens e as emissões de gases de efeito do solo estufa do sistema. Diante disso, a presente Tese teve como objetivo i) avaliar massa de forragem e valor nutritivo do capim-massai em sistema silvipastoril (SSP) ou a pleno sol (SPS) durante os diferentes estádios de desenvolvimento (ED) e, ii) quantificar a emissão de gases de efeito estufa do solo do capim-massai em SSP ou SPS sob a aplicação de bioestimulante foliar. Para isso, dois experimentos foram desenvolvidos. No experimento 1 o delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com cinco repetições. Os tratamentos foram distribuídos em esquema fatorial 2 x 4. O capim-massai foi avaliado em dois tipos de sistemas: SSP e SPS; durante quatro estádios de desenvolvimento: estágio vegetativo (E1), pré-floração (E2), floração plena (E3) e maturidade após o florescimento (E4). O componente florestal do sistema silvipastoril foi o *Eucalyptus urograndis* (*Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*), plantados em fileiras únicas, no sentido Leste-Oeste e espaçamentos de 18 x 1,5 m. O experimento 2 foi disposto em delineamento inteiramente casualizado, com cinco repetições, em esquema fatorial 2 x 2, em 4 ciclos de pastejo. Os tratamentos foram os dois sistemas: SSP e SPS; e aplicação do bioestimulante foliar: com e sem. No experimento 1, a produção de massa de forragem e componentes morfológicos do capim-massai não diferiram ($p>0,05$) entre o SSP e SPS. Entretanto, se diferiram nos estádios de desenvolvimento ($p<0,05$), com efeito linear crescente para massa de forragem, porcentagem de colmo e material morto e decrescente para porcentagem de folha e relação folha:colmo. O tipo de sistema de cultivo alterou apenas o teor de proteína bruta. À medida que se elevou a idade da planta forrageira, houve redução na produção de gás oriundo da fermentação da matéria orgânica (Vf) e tempo de colonização (L). A degradabilidade *in vitro* da matéria seca não diferiu entres os sistemas de cultivo e decaiu com o avançar dos estádios de desenvolvimento. No experimento 2, as maiores emissões e consumos de metano (CH_4) ocorreram no 4º ciclo de pastejo, em ambos os anos experimentais com fluxo médio de $149 \pm 64 \mu\text{g CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ e $-122 \pm 73 \mu\text{g CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$.

¹, respectivamente. Os maiores fluxos de óxido nitroso (N_2O) foram observados no 1º ciclo de pastejo nos dois anos experimentais com fluxo médio de $80 \pm 70 \mu\text{g N}_2\text{O m}^{-2} \text{h}^{-1}$ e $62 \pm 21 \text{ N}_2\text{O } \mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$ em 2020. Independentemente do tipo dos sistemas e a aplicação do bioestimulante não houve alteração nas emissões cumulativas de CH_4 . Em relação ao N_2O , a aplicação do bioestimulante foliar reduziu a emissão cumulativa de N_2O no 2º ciclo de pastejo e durante o 3º ciclo de pastejo o SSP apresentou maior emissão. No experimento 1, o sombreamento causado pelo sistema silvipastoril não comprometeu a massa de forragem, valor nutritivo e a DIVMS do capim-massai em comparação ao sistema a pleno sol, exceto pelo aumento no teor de PB. O sombreamento também fez com que o capim-massai permanecesse estágio vegetativo por mais tempo. O avanço do estágio de desenvolvimento da forrageira resulta na diminuição da proporção de folhas e do seu valor nutritivo. No experimento 2, Pastagens tropicais funcionam como fonte e dreno nas emissões de N_2O e CH_4 . Os resultados demonstram que o sistema silvipastoril possui potencial para emitir mais N_2O em comparação ao sistema em monocultivo, enquanto a aplicação de bioestimulante foliar apresenta potencial para reduzir essas emissões. No entanto, outros fatores que controlam os fluxos dos gases de efeito estufa vão além do sistema e uso de bioestimulante foliar. Estudos futuros devem ser realizados para verificar quais são os principais controladores na emissão de gases de efeito estufa em diferentes sistemas de pastagens tropicais e diferentes doses de bioestimulantes.

Palavras-chave: estágio de desenvolvimento, gases de efeito estufa, metano, óxido nitroso, sombreamento

PRODUCTIVE RESPONSE OF MASSAI GRASS AND GAS FLOW IN SILVIPASTORY SYSTEM WITH APPLICATION OF LEAF BIOSTIMULATING

ABSTRACT- The use of arboreal components in pasture systems has been used to bring several benefits to the soil-plant-animal component, which can alter the nutritional value of forages and the system's greenhouse gas emissions. Therefore, this Thesis aimed to i) evaluate forage mass and nutritive value of massai grass in a silvopastoral system (SSP) or in full sun (SPS) during the different stages of development (ED) and, ii) quantify the emission of greenhouse gases from the soil of massai grass in SSP or SPS under the application of foliar biostimulant. For this, two experiments were developed. In experiment 1, the experimental design was completely randomized, with five replications. The treatments were distributed in a 2 x 4 factorial scheme. Massai grass was evaluated in two types of systems: SSP and SPS; during four developmental stages: vegetative stage (E1), pre-flowering (E2), full flowering (E3) and maturity after flowering (E4). The forest component of the silvopastoral system was the *Eucalyptus urograndis* (*Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*), planted in single rows, in the East-West direction and spacing of 18 x 1.5 m. Experiment 2 was arranged in a completely randomized design, with five replications, in a 2 x 2 factorial scheme, in 4 grazing cycles. The treatments were the two systems: SSP and SPS; and application of the foliar biostimulant: with and without. In experiment 1, forage mass production and morphological components of massai grass did not differ ($p > 0.05$) between SSP and SPS. However, they differed in the development stages ($p < 0.05$), with an increasing linear effect for forage mass, percentage of stem and dead material and decreasing for leaf percentage and leaf:stem ratio. The type of cultivation system only changed the crude protein content. As the age of the forage plant increased, there was a reduction in gas production from the fermentation of organic matter (Vf) and colonization time (L). The in vitro degradability of dry matter did not differ between cropping systems and declined as the development stages progressed. In experiment 2, the highest emissions and consumption of methane (CH_4) occurred in the 4th grazing cycle, in both experimental years with an average flow of $149 \pm 64 \mu\text{g CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ and $-122 \pm 73 \mu\text{g CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, respectively. The highest fluxes of nitrous oxide (N_2O) were observed in the 1st grazing cycle in the two experimental years with a mean flux of

$80 \pm 70 \mu\text{g N}_2\text{O m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ and $62 \pm 21 \text{ N}_2\text{O } \mu\text{g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ in 2020. Regardless of the type of systems and the application of the biostimulant, there was no change in cumulative CH_4 emissions. In relation to N_2O , the application of the foliar biostimulant reduced the cumulative emission of N_2O in the 2nd grazing cycle and during the 3rd grazing cycle the SSP presented higher emission. In experiment 1, the shading caused by the silvopastoral system did not affect the forage mass, nutritive value and DIVMS of massai grass compared to the system under full sun, except for the increase in CP content. Shading also made the Massai grass remain a vegetative stage for a longer period of time. The advancement of the forage development stage results in a decrease in the proportion of leaves and their nutritive value. In experiment 2, tropical pastures act as a source and sink for N_2O and CH_4 emissions. The results demonstrate that the silvopastoral system has the potential to emit more N_2O compared to the monoculture system, while the application of foliar biostimulant has the potential to reduce these emissions. However, other factors that control the fluxes of greenhouse gases go beyond the foliar biostimulant system and use. Future studies must be carried out to verify which are the main controllers in the emission of greenhouse gases in different tropical pasture systems and different doses of biostimulants.

Keywords: greenhouse gases, methane, nitrous oxide, shading, stage of development

CAPÍTULO 1 - Considerações gerais

1. Introdução

As emissões globais de gases de efeito estufa (GEE) podem ser divididas em cinco setores econômicos: energia, indústria, edifícios, transporte e agricultura, silvicultura e outros usos do solo (Lamb et al., 2021). Mundialmente, o setor agropecuário, florestal e uso da terra juntos contribuem com 18,4% do total das emissões, sendo que apenas 5,8% são oriundas da pecuária e esterco (Ritchie & Roser et al., 2020). O setor agropecuário participou com 33,6% das emissões totais do Brasil em 2016, sendo que 56,5% das emissões do setor vem da fermentação entérica, o que representa 19% do total de emissões nacionais (MCTIC, 2019). De acordo com os dados da World Resource Institute o Brasil contribui com 2,19% das emissões globais, do qual 1,06% vem do setor agropecuário. Vale ressaltar que o Brasil está entre os maiores produtores e exportadores de carne bovina do mundo em 2020 o rebanho bovino brasileiro era de 218,2 milhões de cabeças (IBGE, 2020) e mesmo com tamanho rebanho a contribuição do setor agropecuário nas emissões de GEE globais é relativamente baixa. Ainda assim, nos sistemas de produção de bovinos é constante a busca pela eficiência em relação à exploração dos recursos naturais tais como, o uso da terra e da água, conservação da biodiversidade e redução da emissão de gases de efeito estufa (Moura et al., 2017).

O sistema silvipastoril (SSP) tem sido proposto como alternativa para a recuperação de áreas degradadas (Pezzopane et al., 2015) e para a mitigação de GEE (Bernardi et al., 2016), além de aumentar a eficiência no uso dos recursos naturais e diversificar a renda das propriedades rurais (Bernardi et al., 2016). Esse sistema consiste na integração de espécies arbóreas, pastagem e animal (Oliveira et al., 2017).

Em sistema silvipastoril, o cultivo da forrageira ocorre no sub-bosque. Dessa forma, as árvores são capazes de provocar mudanças no microclima que podem influenciar a produtividade do pasto (Santos et al., 2016). Dentre as principais alterações causadas pelas árvores, tem-se a diminuição da quantidade e qualidade de luz sob o dossel forrageiro (Kaur et al., 2002; Pezzopane et al., 2015;). Como consequência desta limitação, as estruturas das plantas passam por diversas

adaptações morfológicas (área, espessura e comprimento da folha, colmos mais finos, entrenós mais longos, folhas mais delgadas), com intuito de se tornarem mais eficientes em ambientes com baixa intensidade luminosa (Coelho et al., 2014). Estas adaptações interferem na quantidade e no valor nutritivo (VN) da forragem produzida e na velocidade de desenvolvimento, que tendem a permanecer em estado vegetativo por mais tempo (Sousa et al., 2010).

As condições microclimáticas formadas pelo SSP, como diminuição da radiação solar, da temperatura e aumento da umidade do solo interferem nas emissões dos GEE, uma vez que, a atividade microbiana do solo responsável pela produção destes gases é dependente desses fatores (Silva-Pando et al., 2002). Além da emissão do CH₄ entérico durante a fermentação das fibras, outra parcela das emissões dos GEE vindas do setor agropecuário também inclui as emissões de CH₄ e óxido nitroso (N₂O) dos solos, provenientes principalmente da adubação e das excretas dos animais, por meio de processos bioquímicos no solo, afetados por condições climáticas. Dessa forma, os bioestimulantes podem ser considerados uma alternativa para redução no uso de fertilizantes sintéticos, uma vez que são capazes de aumentar a eficiência no aproveitamento dos nutrientes e melhorar o crescimento e desenvolvimento das plantas (Calvo et al., 2014).

A presente pesquisa abordará informações voltadas a i) massa de forragem e valor nutritivo do capim-massai em sistema silvipastoril ou a pleno sol durante os diferentes estádios de desenvolvimento, e ii) emissão de gases de efeito estufa do capim-massai em sistema silvipastoril ou a pleno sol com aplicação ou não de bioestimulante foliar.

2. Revisão de literatura

2.1 Sistema silvipastoril

O sistema silvipastoril é caracterizado pelo consórcio entre espécies arbóreas e forrageiras em uma mesma área. A implantação deste sistema tem por objetivo diversificar a produção da propriedade e aumentar a eficiência de uso dos recursos naturais (Castro et al., 2008).

Inúmeros são os benefícios ambientais que ocorrem nesse sistema, como proteção e melhoria da diversidade local (Wendling, 2011), diversificação de fontes

de renda dentro da propriedade, maior eficiência do uso da terra, recuperação de áreas degradadas (Pezzopane et al., 2015), produção de sombra, proporcionando ambiente favorável ao bem-estar dos animais (Oliveira et al., 2018), melhoria nas condições físicas e químicas do solo (Paciullo et al., 2007), além de reduzir ou compensar as emissões de GEE (Nair et al., 2011) a partir da melhoria na qualidade da forrageira e, conseqüentemente, redução da emissão de CH₄ entérico oriunda da fermentação ruminal (Bernardi et al., 2016).

A escolha correta da espécie arbórea e da forrageira são fatores determinantes para o sucesso do SSP. Portanto, para que o sistema seja estável e produtivo, deve haver equilíbrio entre os componentes sem que ocorram altos níveis de competição entre luminosidade, água e nutrientes (Paciullo et al., 2011).

A espécie arbórea deve apresentar fácil estabelecimento, crescimento inicial rápido, copa reduzida e fuste longo, proporcionando um microclima arejado, tais características permitirão maior incidência luminosa favorecendo o desenvolvimento da forrageira (Dias Filho, 2006). Dentre as espécies florestais com potencial de utilização em sistemas silvipastoris, o gênero *Eucalyptus* tem se destacado no Brasil por apresentar as características desejáveis para compor um ambiente misto. O eucalipto também possui grande potencial na mitigação de GEE principalmente devido ao aumento de sequestro de carbono pelas árvores em razão da maior biomassa acima e abaixo do solo (Bernardi et al., 2016). Ao avaliarem plantações florestais de eucalipto aos seis anos de idade, Paixão et al. (2006) observaram estoque de C de 71,3 t ha⁻¹, sendo 47 t ha⁻¹ de C na parte aérea das árvores, 14,71 t ha⁻¹ nas raízes e 8,72 t ha⁻¹ na camada orgânica acima do solo. De acordo com Seppänen (2002) florestas de eucalipto de alta produtividade podem fixar de 320 a 610 t ha⁻¹ de C ao longo de sete anos.

O principal fator que deve ser levado em consideração na escolha da espécie forrageira é a tolerância ao sombreamento causado pelas árvores. Forrageiras do gênero *Urochloa* e *Megathyrsus* (Syn. *Panicum maximum*) apresentam maior tolerância a ambientes com restrição de radiação incidente, as gramíneas *Urochloa brizantha* cvs. Marandu, Xaraés e Piatã, *Urochloa decumbens* cv. Basilisk, *Megathyrsus maximus* cvs. Aruana, Mombaça e Tanzânia, e *Megathyrsus* spp. cv. Massai são consideradas tolerantes ao sombreamento com níveis de sombreamento

de 30 a 50% e com produção satisfatória em sistemas integrados (Almeida et al., 2012).

Dentre as espécies forrageiras, o capim-massai pode ser considerado uma opção para sistemas silvipastoris tanto em fase de estabelecimento como reprodutiva. Oliveira et al. (2014) testaram o efeito do sombreamento (0 e 50%) em três cultivares de *Megathyrsus maximus* (Tanzânia, Mombaça e Massai) em relação a germinação e desenvolvimento das plantas. Os autores verificaram que o ambiente com 50% de sombreamento propiciou melhor desenvolvimento às cultivares avaliadas, com aumento de 89% na massa seca da parte aérea.

Andrade et al. (2004) ao avaliarem o efeito de níveis crescentes de sombreamento artificial (0, 30, 50 e 70%) em diferentes gramíneas e leguminosas constataram taxas de acúmulo de matéria seca (MS) do capim-massai aumentou ligeiramente com 30% de sombra e decresceu suavemente a partir desse nível, e que com 50% e 70% de sombra o capim-massai teve decréscimo de 17% e 50%, respectivamente, em relação ao pleno sol. Paciullo et al. (2016) avaliando capim-massai e Tanzânia sob diferentes níveis de sombreamento artificial (0, 37 e 58%) e com diferentes doses de nitrogênio (0, 50, 100 e 150 mg N dm⁻³) observaram que a produtividade do capim-massai não foi afetada com doses de N de 0 e 50 mg N dm⁻³, entretanto em condições de sombreamento mais intenso (58%) com as maiores doses de N (100 e 150 mg N dm⁻³), diminuíram a biomassa total em 14 e 30%, respectivamente, evidenciando que altas doses de N podem reduzir a produtividade dos capins avaliados quando submetidos a altos níveis de sombreamento.

Van Cleef et al. (2021) notaram diferença na produção de massa de capim-massai em diferentes espaçamentos em arranjos silvipastoris (6 e 12 metros entre linhas), o espaçamento entre árvores de 12 m (6232 kg MS há⁻¹) não diferiu do capim-massai à pleno sol (5358 kg MS há⁻¹), enquanto o espaçamento de 6 m, com maior restrição de radiação, afetou negativamente a produção de massa de forragem (3890 kg MS há⁻¹), deixando claro que o capim-massai submetido à sombreamentos intensos podem comprometer a produção de massa de forragem.

2.2 Estádios de desenvolvimento

Durante os estádios de desenvolvimento, as plantas forrageiras passam por diferentes processos de crescimento e desenvolvimento que causam variações temporais na quantidade e no VN da forragem produzida. Ter conhecimento de cada estágio de desenvolvimento e do VN é importante para tomadas de decisões dentro da propriedade, como na escolha do melhor momento para a utilização do pasto, pois em determinados estádios de desenvolvimento, como o vegetativo, a planta forrageira apresenta características que resultam melhor composição química e digestibilidade, garantindo obter melhor aproveitamento da forragem produzida e desempenho animal (ASAADI; DADKHAH, 2010; ASAADI; YAZD, 2011; RAD et al., 2013).

Há um sistema para identificação e quantificação dos estádios de desenvolvimento de gramíneas forrageiras perenes. O sistema corresponde a um conjunto universal de descritores morfológicos para forragem e pastagem baseado em cinco estádios primários de crescimento (i) germinação, (ii) vegetativo, (iii) alongamento, (iv) reprodutivo, e (v) amadurecimento das sementes (Figura 1) (Moore et al., 1991).

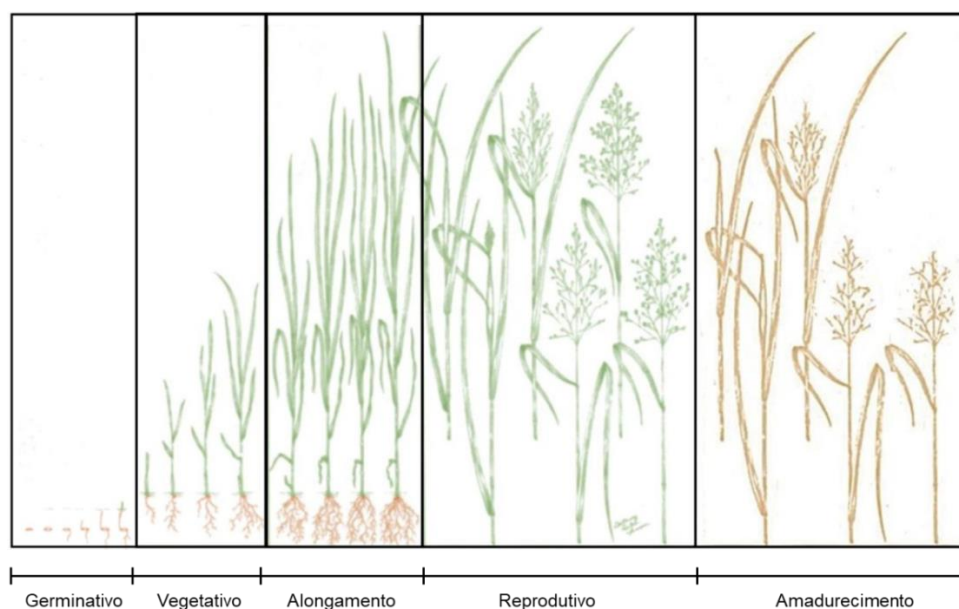


Figura 1. Ilustração dos estádios germinativo, vegetativo, alongamento, reprodutivo e amadurecimento (Adaptado de Moore et al., 1991).

Além do estágio de desenvolvimento, outros fatores também contribuem na variação do VN, como: condições climáticas (temperatura, umidade e luminosidade),

espécie forrageira e a relação folha:colmo, tipo de solo e fertilidade, incidência de pragas e doenças, estágio de desenvolvimento e momento da utilização (HARROCKS; VALENTINE, 1999; ARZANI et al., 2001; TESK et al., 2018).

Com o avanço do estágio fenológico da planta, há diminuição do VN da forragem devido a redução da relação folha:colmo e aumento da lignificação da parede celular (VAN SOEST, 1982). Entre os estágios de desenvolvimento vegetativo (produtivo) e o reprodutivo (florescimento), a forrageira passa por mudanças morfofisiológica (alongamento de colmo, cessamento no aparecimento de folhas novas, aumento da senescência, entre outras) que alteram o VN, de modo que, quanto mais avançado o estágio de desenvolvimento da planta, maior será a redução da digestibilidade devido ao aumento da parede celular e redução do conteúdo celular (REZAEIFARD et al., 2010; TESK et al., 2018). De fato, no conteúdo celular são encontrados os nutrientes digestíveis, incluindo, proteínas, carboidratos, açúcares, lipídios, ácidos orgânicos e cinzas (VAN SOEST, 1982). Caldeira (2016) avaliou o capim-massai em diferentes idades de corte e observou comportamento linear decrescente da digestibilidade *in vitro* da matéria seca, devido ao aumento das frações fibrosas. A redução da digestibilidade ocorre com o aumento dos tecidos de suporte que contêm maior proporção de parede celular (lignificados), que são formados principalmente de xilema e esclerênquima, os quais são passíveis de lignificação (TESK et al., 2018). Altas proporções de parede celular limitam a ação das enzimas digestivas produzidas por microrganismos do rúmen, e por consequência, a degradação e aproveitamento dos nutrientes (GARCEZ et al., 2016).

2.3 Bioestimulantes

Bioestimulante vegetal é qualquer substância ou microrganismo aplicado nas plantas, de origem sintética ou natural, possuem ações similares aos grupos de hormônios vegetais como citocininas, auxinas, giberelinas, etileno, retardadores e inibidores vegetais (Przybylski et al., 2014).

Os bioestimulantes são aplicados com intuito de aumentar a eficiência nutricional, as características de qualidade da cultura e a tolerância ao estresse abiótico (Du Jardin, 2015), de alterar os processos vitais ou estruturais da planta,

visando aumento da produção e melhora no VN (Laca-Buendia, 1989; Alleoni et al., 2000). O aumento da produção se deve à melhoria da eficiência e do uso dos nutrientes (Calvo et al., 2014) que englobam a mobilização e a absorção dos nutrientes nos solos, o transporte, o armazenamento e a assimilação dos nutrientes na planta (Du Jardin, 2015). De acordo com o autor supracitado, os bioestimulantes não são considerados fertilizantes por não conterem nutrientes destinados às plantas, porém podem facilitar a aquisição dos nutrientes disponível. A eficácia do uso dos bioestimulantes está relacionada ao efeito da combinação das diferentes substâncias que compõe sua formulação (Rouphael & Colla, 2018).

O efeito do bioestimulante é mais notável quando a planta é exposta a situações de estresse, como seca, aumento de salinidade e sombreamento, resultando em melhor recuperação em face aos danos provocados por condições desfavoráveis (Przybysz et al., 2014). Além disso, promove o equilíbrio hormonal na planta e permite melhor expressão do potencial genético (Lucena et al., 2019).

Uma definição em termos legais ou regulatória para bioestimulantes de plantas ainda é escassa, o que dificulta a categorização dos microrganismos e substâncias envolvidos pelo conceito (Du Jardin, 2015). Ainda assim, algumas categorias reconhecidas são (i) ácidos húmicos e fúlvicos, (ii) hidrolisados de proteína e outros compostos contendo nitrogênio, (iii) extratos de algas marinhas e botânicos, (iv) quitosanas e outros biopolímeros, (v) compostos inorgânicos, (vi) fungos e bactérias benéficas (Du Jardin, 2015).

Bioestimulantes compostos por extratos de algas *Ascomyllum nodosum* melhoram a eficiência das plantas na absorção dos nutrientes, estimulam o crescimento vegetativo e o aumento na produção, além disso, propiciam maior adaptação das plantas aos estresses ambientais, o que garante maior rendimento, mesmo em condições desfavoráveis (Di Stasio et al., 2018; Jithesh et al., 2019; Rosa et al., 2021).

O YaraVita BIOTRAC[®] é uma mistura comercial com uma formulação única de nutrientes (nitrogênio, potássio, boro, zinco e carbono orgânico total) e bioestimulantes, que inclui extrato de algas (*Ascomyllum nodosum*), uma fonte rica em citocininas, auxinas e giberelinas. As principais atribuições das citocininas estão relacionadas com a regulação de crescimento e diferenciação, incluindo divisão

celular. As auxinas promovem crescimento e alongamento celular, sendo consideradas importantes estimuladores de enraizamento. Enquanto, as giberelinas estão relacionadas com o alongamento e a divisão celular e apresentam efeito estimulante no processo germinativo (Almeida et al., 2015).

Existem poucos resultados de pesquisas envolvendo uso de bioestimulantes relacionados com pastagens e/ou aos gases de efeito estufa. Cabral (2016) ao avaliar fluxos de N_2O em solos de agricultura orgânica com diferentes tratamentos (esterco bovino, torta de mamona e bioestimulante foliar) e combinações entre eles, notou que o uso do biestimulante proporcionou aumento na produção das hortaliças, entretanto, não alterou o fluxo do gás. Reis et al. (2020) avaliaram os efeitos de diferentes doses de bioestimulante (0, 1, 2, 3 L ha⁻¹) sobre a produtividade e o VN da *Urochloa brizantha* cv. Marandu associado a dois níveis de fertilização (50 e 150 kg N ha⁻¹). Os autores notaram que o uso de bioestimulante não alterou o VN da gramínea, entretanto, a aplicação de 1 e 2 L ha⁻¹ do bioestimulante com fertilização de 50 kg N ha⁻¹ aumentou a produção de matéria seca por hectare, porém seu uso não foi eficaz com 150 kg N ha⁻¹.

2.4 Gases de efeito estufa

O efeito estufa é um fenômeno natural que mantém a temperatura terrestre, o aumento das emissões dos gases de efeito estufa pelas ações antrópicas causam o aumento na temperatura da superfície terrestre devido ao aquecimento das camadas inferiores da atmosfera pelo acúmulo exacerbado de GEE (Mikhaylov et al., 2020). Dentre os gases de efeito estufa de vida longa que mais contribuem para o aquecimento global destacam-se, o dióxido de carbono (CO_2), CH_4 e N_2O (Rubino et al., 2019). A emissão de GEE é crescente, de 2005 a 2015 houve aumento de 4,29 e 19,01% na emissão de CH_4 e N_2O , respectivamente. Em 2015, de todo CH_4 emitido pelo setor agropecuário, 90,05% foram oriundos da fermentação entérica dos ruminantes, enquanto 96,08% da emissão de N_2O foram relacionados aos solos agrícolas (MCTIC, 2017). Apesar da emissão de CO_2 ser maior em relação ao CH_4 e N_2O , esses últimos apresentam potencial de aquecimento global 28 e 265 vezes maior, respectivamente, em relação ao CO_2 (MCTIC, 2014).

Em 2018 os principais GEE alcançaram novos picos, sendo, o CO₂ 407,8 ± 0,1 ppm, CH₄ 1869 ± 2 ppb e N₂O 331,1 ± 0,1 ppb, o que representa o aumento de 147%, 259% e 123% dos níveis pré-industriais (antes de 1750), respectivamente. De 1990 a 2018, o forçamento radiativo por GEE de vida longa aumentou 43%, sendo o principal responsável o CO₂, que contribui com 81% desse aumento (WMO, 2019).

Parte da emissão dos GEE é oriunda da agropecuária, entretanto, quando comparada com outros setores, a estimativa da emissão desses gases apresenta mais incertezas, principalmente devido à complexidade dos sistemas de produção e por envolver o componente animal (Almeida & Medeiros, 2013). As principais emissões desse setor estão relacionadas à produção de CH₄ resultante da fermentação entérica nos ruminantes e ao uso de fertilizantes sintéticos com intensa emissão de N₂O (MCTIC, 2017).

Devido a contribuição do setor agropecuário com o aquecimento global há uma busca constante para mitigar ou compensar a emissão destes gases. O Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura, também denominado Plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono), é uma iniciativa que tem como premissa baixas emissões e mitigação de CO₂ no uso e manejo da terra pela adoção de tecnologias sustentáveis de produção. O plano ABC é composto por sete programas, os quais englobam tecnologias de mitigações e ações de adaptações às mudanças climáticas (BRASIL, 2012). Dentre estes programas existe o sistema de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF) e Sistemas Agroflorestais (SAFs), no qual o Ministério da Agricultura incentiva a prática do ILPF entre os produtores rurais a partir da capacitação profissional. A área de adoção deste sistema passou de 6,78 milhões de ha em 2010 para 12,61 milhões de ha em 2016, alcançando 146% da meta de expansão estabelecida no Plano ABC para 2020 (EMBRAPA, 2020).

2.4.1 Óxido nitroso

O óxido nitroso é naturalmente produzido em solos pelos processos de nitrificação e desnitrificação. A nitrificação ocorre em meio aeróbico, sendo a oxidação do amônio em nitrato, e a desnitrificação corresponde a um processo

microbiano anaeróbico, que consiste na redução do nitrato em gás nitrogênio (Signor & Cerri, 2013). O óxido nitroso é um gás intermediário produzido pela sequência de reações da desnitrificação e um subproduto da nitrificação liberado das células microbianas para o solo e, em seguida, para a atmosfera (Moreira & Siqueira, 2006). Um dos principais fatores de controle dessa reação é a disponibilidade de nitrogênio inorgânico no solo (IPCC, 2019).

As características dos solos e o tipo de manejo adotado no sistema podem interferir nos processos de nitrificação e desnitrificação, como, temperatura, aeração, matéria orgânica disponível, relação C:N (Signor et al., 2013), teor de água, fonte e doses do fertilizante (Cardoso et al., 2017), textura e pH (Santos, 2016). As variações nesses processos irão alterar a emissão de N_2O do solo (Thomson et al., 2012). Por exemplo, a formação de N_2O no solo a partir da nitrificação ocorre quando o espaço poroso saturado por água (EPSA) está abaixo de 60%, enquanto a desnitrificação, principal processo para a formação de N_2O , é favorecido quando o EPSA está entre 60-80% (DOBBIE; SMITH, 2003). Nogueira et al. (2016) e Cardoso et al. (2017) observaram maiores fluxos de N_2O durante o verão, devido a maior quantidade de chuvas e conseqüentemente aumento do EPSA (entre 60-70%). Corrêa et al. (2016) também notaram correlação positiva entre o fluxo de N_2O com EPSA, temperatura e o teor de nitrato no solo.

2.4.2 Metano

O CH_4 contribui com cerca de 17% do forçamento radiativo total por GEE de vida longa, sendo o segundo gás de efeito estufa antropogênico mais importante. Cerca de 40% do CH_4 emitido para a atmosfera é oriundo de fontes naturais, pântanos e cupins, por exemplo, e aproximadamente 60% são de origem antrópicas, como pecuária, cultivo de arroz, aterros sanitários, queima de biomassa e exploração de combustível fóssil (WMO, 2019).

No solo, o CH_4 é produzido por arqueas metanogênicas, que são grupos de microrganismos que possuem sistemas enzimáticos únicos, capazes de produzir CH_4 a partir da decomposição da matéria orgânica, como produto do seu metabolismo (Zinder, 1993). Estes microrganismos necessitam de condições extremamente anaeróbicas para a produção deste gás, todavia, em condições

contrárias, de aerobiose, o solo pode funcionar como dreno de CH₄ (Mazzeto et al., 2014).

Diversos fatores interferem na produção de CH₄, como temperatura, precipitação, radiação, teor de água no solo, conteúdo de matéria orgânica e pH (Agostinetti et al., 2002). Entretanto, os fatores que controlam as taxas de emissões de CH₄ bem como as diferentes combinações entre esses fatores que podem contribuir para as emissões, são ainda incertos (Cardoso et al., 2019).

Dessa forma, a pretensão desta pesquisa foi avaliar a produção e o VN do capim-massai (*Megathyrsus maximus* x *Megathyrsus infestum*) nos diferentes estádios de desenvolvimento em sistema silvipastoril composto por eucalipto (*Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*) e em pleno sol, assim como a emissão dos gases de efeito estufa nos dois sistemas com a aplicação de bioestimulante foliar, utilizando as seguintes hipóteses:

1) A sombra causada pelo sistema silvipastoril irá reduzir a massa de forragem e alterar o valor nutritivo do capim-massai quando comparado ao pleno sol; e que quanto mais avançado o estágio de desenvolvimento pior será o valor nutritivo.

2) O uso do bioestimulante foliar reduzirá as emissões de CH₄ e N₂O em razão do maior aproveitamento dos nutrientes pela forrageira. As maiores emissões de N₂O e CH₄ do solo seriam observadas durante os primeiros ciclos de pastejo devido as condições climáticas desta época do ano, assim como no SSP quando comparado ao pleno sol.

3 Referências

- AGOSTINETT D, FLECK NG, RIZZARDI MA, BALBINOT AA. (2002). Potencial de emissão de metano em lavouras de arroz irrigado. **Ciência Rural**, 32:1073-1081. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782002000600026>
- ALLEONI B, BOSQUEIRO M, ROSSI M. (2000). Efeito dos reguladores vegetais de Stimulate no desenvolvimento e produtividade de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciências Exatas e da Terra, Ciências Agrárias e Engenharias**, 6:23-35. DOI: <https://doi.org/10.5212/publicatio.v6i01.744>
- ALMEIDA EM, DIJKSTRA D, RIBEIRO FM, ZANATA FA, MACHADO AS, RIOS ADF. (2015). Uso de reguladores de crescimento vegetal em plantas forrageiras. **Nutritime Revista Eletrônica**, 12:4302-4308.

- ALMEIDA RG, BARBOSA RA, ZIMMER AH, KICHEL AN. (2012). **Forrageiras em sistemas de produção de bovinos em integração**. In: SERRA, A. D. *Sistemas de Integração lavoura-pecuária-floresta: a produção sustentável*. 2.ed. Brasília, DF: Embrapa, p.87-94.
- ALMEIDA RG, BARBOSA RA, ZIMMER AH, KICHEL AN. (2012). **Forrageiras em sistemas de produção de bovinos em integração**. In: SERRA, A. D. *Sistemas de Integração lavoura-pecuária-floresta: a produção sustentável* - Embrapa p.87-94.
- ALMEIDA RG, MEDEIROS SR. (2013). **Emissão de gases de efeito estufa em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta**. In Embrapa Gado de Corte - Artigo em anais de congresso (ALICE). In: SISTEMAS AGROFLORESTAIS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL 10 ANOS DE PESQUISA, 2013, Campo Grande, MS. **Anais...** Campo Grande, MS: SAF´ s: Embrapa Gado de Corte, 2013.
- ANDRADE CMS, VALENTIM JF, CARNEIRO JC, VAZ FA. (2004). Crescimento de gramíneas e leguminosas forrageiras tropicais sob sombreamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, 39:263-270. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2004000300009>
- ARZANI H, ZOHDI M, FISH E, AMIRI GZ, NIKKHAH A, WESTER D. (2004). Phenological effects on forage quality of five grass species. **Rangeland Ecology and Management**, 57:624-629. DOI: [10.2111/1551-5028\(2004\)057\[0624:PEOFQO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2111/1551-5028(2004)057[0624:PEOFQO]2.0.CO;2)
- ASAADI AM, DADKHAH AR. (2010). The study of forage quality of Haloxylon aphyllum and Eurotiaceratoides in different phenological stages. **Research Journal of Biological Sciences**, 5:470-475, 2010. DOI: [10.3923 / rjbsci.2010.470.475](https://doi.org/10.3923/rjbsci.2010.470.475)
- ASAADI AM, YAZDI AK. (2011). Phenological stage effects on forage quality of four forbs species. **Jounal Food, Agriculture & Environment**, 9:380-384, 2011.
- BERNARDI RE, JONGE IK, HOLMGREN M. (2016). Trees improve forage quality and abundance in South American subtropical grasslands. **Agriculture Ecosystems & Environment**, 232:227–231. DOI: [10.1016 / j.agee.2016.08.003](https://doi.org/10.1016 / j.agee.2016.08.003)
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Plano setorial de mitigação e de 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) Brasília: MAPA/ACS, 2012. 173 p.

- CABRAL RR. **Estudo dos fluxos de N₂O e CH₄ em solo de agricultura orgânica, com aplicação de extrato de alga como bioestimulante vegetal**. 2016. p. 152. (Dissertação de mestrado em Geoquímica Ambiental) Universidade Federal Fluminense, Niterói. 2016.
- CALDEIRA, RR. **Avaliação da produção e da qualidade do Capim *panicum maximum* cv. Massai**. 2016. (Dissertação em ciência animal) Universidade de Brasília, Brasília, 2016.
- CALVO P, NELSON L, KLOPPER JW. (2014). Agricultural uses of plant biostimulants. **Plant and Soil**, 383:3-41. DOI: [0.1007 / s11104-014-2131-8](https://doi.org/10.1007/s11104-014-2131-8)
- CARDOSO AS, BRITO LF, JANUSCKIEWICZ ER, MORGADO ES, BARBERO RP, KOSCHECK JF, REIS RA, RUGGIERI AC. (2017). Impact of Grazing Intensity and Seasons on Greenhouse Gas Emissions in Tropical Grassland. **Ecosystems**, 20:845–859. DOI: [10.1007/s10021-016-0065-0](https://doi.org/10.1007/s10021-016-0065-0)
- CARDOSO AS, QUINTANA BG, JANUSCKIEWICZ ER, BRITO LF, MORGADO ES, REIS RA, RUGGIERI AC. (2019). How do methane rates vary with soil moisture and compaction, N compound and rate, and dung addition in a tropical soil? **International journal of biometeorology**, 63:1533-1540. DOI: [10.1007 / s00484-018-1641-0](https://doi.org/10.1007/s00484-018-1641-0).
- CASTRO AC, LOURENÇO JÚNIOR JB, SANTOS NFA, MONTEIRO EMM, AVIZ MAB, GARCIA AR. (2008). Sistema silvipastoril na Amazônia: ferramenta para elevar o desempenho produtivo de búfalos. **Ciência Rural**, 30:2395-2402. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782008000800050>
- COELHO JS, ARAÚJO SAC, VIANA MCM, VILELA SDJ, FREIRE FM, BRAZ TGS. (2014). Morfofisiologia e valor nutritivo do capim-braquiária em Sistema silvipastoril com diferentes arranjos espaciais. **Ciências Agrárias**, 35:1487-1500. DOI: [10.5433/1679-0359.2014v35n3p1487](https://doi.org/10.5433/1679-0359.2014v35n3p1487)
- CORRÊA RS, MADARI BE, CARVALHO GD, COSTA ARD, PEREIRA ACDC, MEDEIROS JC. (2016). Fluxos de óxido nitroso e suas relações com atributos físicos e químicos do solo. **Pesquisa agropecuária brasileira**, 51:1148-1155. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000900014>
- DI STASIO E, VAN OOSTEN MJ, SILLETTI S, RAIMONDI G, DELL'AVERSANA E, CARILLO P, MAGGIO A. (2018). *Ascophyllum nodosum*-based algal extracts act as enhancers of growth, fruit quality, and adaptation to stress in salinized tomato plants. **Journal of Applied Phycology**, 30:2675–2686. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10811-018-1439-9>.

- DIAS FILHO MB. (2006). **Sistema silvipastoril na recuperação de pastagens degradadas**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental (Documento 258).
- DIAS-FILHO MB. (2014). **Diagnóstico das pastagens no Brasil**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental 36 p.
- DOBBIE KE, SMITH KA. (2003). Impact of different forms of N fertilizer on N₂O emissions from intensive grassland. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, 67(1):37-46. DOI: [10.1023 / A: 1025119512447](https://doi.org/10.1023/A:1025119512447)
- DU JARDIN, P. (2015). Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. **Scientia Horticulturae**, 196:3-14. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Mitigação das emissões de gases de efeitos estufa pela adoção das tecnologias do Plano ABC: estimativas parciais** – Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2020. Documentos/Embrapa Meio Ambiente, 1516-4691; 122.
- GARCEZ BS, ALVES AA, ARAÚJO DLC, LACERDA MDSB, SOUZA LGC, CARVALHO LF. (2016). Degradabilidade ruminal do capim colônia (*Panicum maximum* jacq. cv. colônia) em três idades pós-rebrota. **Acta Veterinaria Brasilica**, 10:130-134. DOI: <https://doi.org/10.21708/avb.2016.10.2.5513>
- HARROCKS D, VALENTINE F. **Harvested forage**. San Diego, CA: Academic Press, 1999.
- IBGE – Instituto brasileiro de geografia e estatística. (2020). **Produção da Pecuária Municipal 2020**. 48:1-12.
- IPCC (2019) Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. P. International Panel on Climate Change (IPCC). p. 546-554.
- JITHESH MN, SHUKLA PS, KANT P, JOSHI J, CRITCHLEY AT, PRITHIVIRAJ B. (2019). Physiological and transcriptomics analyses reveal that *Ascophyllum nodosum* extracts induce salinity tolerance in Arabidopsis by regulating the expression of stress responsive genes. **Journal of Plant Growth Regulation**, 38:463–478. DOI: [10.1007/s00344-018-9861-4](https://doi.org/10.1007/s00344-018-9861-4)
- KAUR B, GRUPTA SR, SINGH G. (2002). Carbon storage and nitrogen cycling in silvopastoral systems on a sodic soil in northwestern India. **Agroforestry Systems**, 54:21-29. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1014269221934>

- LACA-BUENDIA JP. (1989) Efeito de doses de reguladores de crescimento no algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.). **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal** 1(1):109-113.
- LAMB WF, WIEDMANN T, PONGRATZ J, ANDREW R, CRIPPA M, OLIVIER JG, WIEDENHOFER D, MATTIOLI G, KHOORDAJIE AA, HOUSE J, PACHAURI S, FIGUEROA M, SAHEB Y, SLADE R, HUBACEK K, SUN L, RIBEIRO SK, KHENNAS S, CAN SLR, CHAPUNGU I, davis sj, bashmakov i, dai h, dhakal s, tan x, geng y, gu b, minx j. (2021). A review of trends and drivers of greenhouse gas emissions by sector from 1990 to 2018. **Environmental research letters**, 16:073005
- LUCENA LRR, LEITE MLML, BORJA CRS, COSTA ACL. (2019) Superfície de resposta no desenvolvimento do capim Pangolão submetidos a déficit hídrico e aplicação de bioestimulante. **Biomatemática**, 29:17-34.
- MAZZETTO AM, BARNEZE AS, FEIGL BJ, VAN GROENIGEN JW, OENEMA O, CERRI CC. (2014) Temperature and moisture affect methane and nitrous oxide emission from bovine manure patches in tropical conditions. **Soil Biology Biochem**, 76:242–248. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.05.026>.
- MCTIC. **Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**. 5ª edição. MCTI, Brasília. 2019.
- MCTIC. **Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**. 4ª edição. MCTI, Brasília. 2017.
- MCTIC. **Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**. 2ª edição. MCTI, Brasília. 2014.
- MIKHAYLOV A, MOISEEV N, ALESHIN K, BURKHARDT, T. (2020). Global climate change and greenhouse effect. **Entrepreneurship and Sustainability Issues**, 7:2897. DOI: [http://doi.org/10.9770/jesi.2020.7.4\(21\)](http://doi.org/10.9770/jesi.2020.7.4(21))
- MOORE KJ, MOSER LE, VOGEL KP, WALLER SS, JOHNSON BE, PEDERSEN JF. (1991). Describing and quantifying growth stages of perennial forage grasses. **Agronomy Journal**, 83:1073-1077.
- MOREIRA FMS, SIQUEIRA JO. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2006.

- MOURA, A. M. **Características produtivas e qualitativas do pasto, desempenho e emissão de metano de vacas holandês x Zebu em pastagem de capim-marandu**. 2017. p. 126. (Tese doutorado em zootecnia) Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017.
- NAIR PKR, TONUCCI RG, GARCIA R, NAIR VD. (2011). Silvopasture and carbono sequestration with special reference to the Brazilian Savanna (Cerrado). **Carbon sequestration potential of agroforestry systems**, 145. DOI: [0.1007/978-94-007-1630-8_8](https://doi.org/10.1007/978-94-007-1630-8_8)
- NOGUEIRA AKDS, RODRIGUES RDAR, SILVA JJND, BOTIN AA, SILVEIRA JGD, MOMBACH MA, ARMACOLO NM, ROMEIRO SDO. (2016). Fluxos de óxido nitroso em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 51:1156-1162. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000900015>
- OLIVEIRA CC, ALVES FV, DE ALMEIDA RG, GAMARRA EL, VILLELA SDJ, DE ALMEIDA MARTINS PGM. (2018). Thermal comfort indices assessed in integrated production systems in the Brazilian savannah. **Agroforestry systems**, 92:1659-1672. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10457-017-0114-5>
- OLIVEIRA EP, SILVEIRA, LPO, TEODORO PE, ASCOLI FG, TORRES FE. (2014). Efeito do sombreamento e do incrustamento de sementes sobre o desenvolvimento de cultivares de *Panicum maximum* Jacq. **Bioscience Journal**, 30: 682-1691.
- PACIULLO DSC, CARVALHO CAB, AROEIRA LJM, MORENZ MJF, LOPES FCF, ROSSIELLO ROP. (2007). Morfofisiologia e valor nutritivo do capim-braquiária sob sombreamento natural e a sol pleno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 42. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2007000400016>
- PACIULLO DSC, GOMIDE CAM, CASTRO CRT, MAURÍCIO R.M, FERNANDES PB, MORENZ, MJF. (2016). Morphogenesis, biomass and nutritive value of *Panicum maximum* under different shade levels and fertilizer nitrogen rates. **Grass and Forage Science**, 72:590–600. DOI: [10.1111 / gfs.12264](https://doi.org/10.1111/gfs.12264)
- PACIULLO DSC, GOMIDE CAM, CASTRO CRTD, FERNANDES PB, MÜLLER MD, PIRES MDFA, FERNANDES EM, XAVIER DF. (2011). Características produtivas e nutricionais do pasto em sistema agrossilvipastoril, conforme a distância das árvores. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 46:1176–1183. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000009>
- PAIXÃO FA, SOARES CPB, JACOVINE LAG, SILVA ML, LEITE HG, SILVA GF. (2006). Quantificação do estoque de carbono e análise econômica de

- diferentes alternativas de manejo em um plantio de eucalipto. **Revista Árvore**, 30:411-420. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622006000300011>
- PEZZOPANE JRM, BOSI C, NICODEMO MLF, SANTOS PM, CRUZ PG, PARMEJIANI RS. (2005). Microclimate and soil moisture in a silvopastoral system in south eastern Brazil. **Bragantia**, 4:110-119. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-4499.0334>
- PRZYBYSZ A, POPEK R, GAWROŃSKA H, GRAB K, ROMANOWSKA K, WROCHNA M, GAWROŃSKI SW. (2014). Efficiency of photosynthetic apparatus of plants grown in sites differing in level of particulate matter. **Acta Sci Pol-Hortorum**, 13:216-222.
- RAD MS, RAD JS, DA SILVA JAT, MOHSENZADEH S. (2013). Forage quality of two halophytic species, *Aeluropus lagopoides* and *Aeluropus littoralis*, in two phenological stages. **International Journal of Agronomy and Plant Production**, 4:998-1005.
- REIS GC, OLIVEIRA WF, SILVA CC, SILVA BP, SIMÃO SD, CASAGRANDE DR, RODRIGUES JPP, ALVES KS, MACIEL RP, MEZZOMO R. (2020). Growth bioestimulant in marandu grass cultivated in the amazon biome. **Semina: Ciências Agrárias**, 41:3335-3350. DOI: [10.5433 / 1679-0359.2020v41n6Supl2p3335](https://doi.org/10.5433/1679-0359.2020v41n6Supl2p3335)
- REZAEIFARD M, JAFARI AA, ASSAREH MH. (2010). Effects of phenological stages on forage yield quality traits in cocksfoot (*Dactylis glomerata*). **Journal of Food, Agriculture and Environment**, 8:365-369. DOI: <https://doi.org/10.5194/essd-11-473-2019-supplemen>
- RITCHIE H, ROSER M. (2020). CO₂ and greenhouse gas emissions. **Our world in data**.
- ROSA VR, SANTOS ALF, SILVA AA, SAB MPV, GERMINO GH, CARDOSO FB, ALMEIDA MS. (2021). Increased soybean tolerance to water deficiency through biostimulant based on fulvic acids and *Ascophyllum nodosum* (L.) seaweed extract. **Plant Physiology and Biochemistry**, 158, 228-243. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.11.008>
- ROUPHAEL Y, COLLA, G. (2018). Synergistic biostimulatory action: Designing the next generation of plant biostimulants for sustainable agriculture. **Frontiers in plant science**, 9, 1655. DOI: [10.3389/fpls.2018.01655](https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01655)
- RUBINO M, ETHERIDGE DM, THORNTON DP, HOWDEN R, ALLISON CE, FRANCEY RJ, LANGENFELDS RL, STEELE LP, TRUDINGER CM,

- SPENCER DA, CURRAN MAJ, OMMEN TDV, SMITH AM. (2019). Revised records of atmospheric trace gases CO₂, CH₄, N₂O, and $\delta^{13}\text{C}$ -CO₂ over the last 2000 years from Law Dome, Antarctica. **Earth System Science Data**, 11:473-492. DOI: <https://doi.org/10.25919/5bfe29ff807fb>
- SANTOS IL. **Matéria orgânica do solo e emissão de óxido nitroso em agroecossistemas de longa duração no cerrado**. 2016. P. 117. Tese (Doutorado em Agronomia) Universidade de Brasília, Brasília, 2016.
- SEPPÄNEN, P. (2002). Secuestro de carbono através de plantaciones de eucalipto en el trópico húmedo. **Foresta Veracruzana**, 4(2):51-58.
- SIGNOR D, CERRI CEP. (2013). Nitrous oxide emissions in agricultural soils: a review. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 43:322-338. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1983-40632013000300014>
- SILVA-PANDO FJ, HERNANDEZ MPG, LORENZO MJR. (2002). Pasture production in a silvopastoral system in relation with microclimate variables in the atlantic coast of Spain. **Agroforestry Systems**, 56:203–211.
- SOUSA LF, MAURÍCIO RM, MOREIRA GR, ALVES LC, BORGES I, PEREIRA LGR. (2010). Nutritional evaluation of “Braquiaraão” grass in association with “Aroeira” trees in a silvopastoral system. **Agroforest Systems**, 79:89–199. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10457-010-9297-8>
- TESK CRM, PEDREIRA BC, PEREIRA DH, PINA DDS, RAMOS TA, MOMBACH MA. (2018). Impact of grazing management on forage qualitative characteristics: a review. **Scientific Electronic Archives**, 11:188-197. DOI: [10.36560 / 1152018667](https://doi.org/10.36560/1152018667)
- THOMSON AJ, GIANNOPOULOS G, PRETTY J, BAGGS EM, RICHARDSON DJ. (2012). Biological sources and sinks of nitrous oxide and strategies to mitigate emissions. **Philosophical Transactions the Royal Society**, 367:1157- 1168. DOI: [10.1098 / rstb.2011.0415](https://doi.org/10.1098/rstb.2011.0415)
- VAN CLEEF FDOS, VAN CLEEF EHCB, ABREU SDJ, RIBAS CMH, LONGHINI VZ, RUGGIERI AC. (2021). Physiological and behavioural responses of sheep grazing in a tropical silvopastoral system. **Animal Production Science**, 61:1564-1574. DOI: <https://doi.org/10.1071/AN20317>
- VAN SOEST P. J. (1984). **Nutritional ecology of the ruminant**. New York: Cornell University Press; 476p.

- WENDLING IJ. **Produtividade e valor nutritivo de capim-braquiária em sistemas silvipastoris com eucalipto e acácia adubados com nitrogênio**. 2011. p. 75. (Tese Doutorado em Zootecnia) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.
- WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, 2019: WMO Greenhouse Gas Bulletin: The state of greenhouse gases in the atmosphere based on global observations through 2018, No. 15. ISSN 2078-0796. 2019.
- ZINDER SH. (1993). **Physiological ecology of methanogenesis**. In **Methanogenesis: Ecology, Physiology, Biochemistry and Genetics** (Ferry, J.G., ed.). New York, Chapman and Hall, pp: 128-206.

CAPÍTULO 2 – Características nutricionais e massa de forragem do capim-massai em diferentes estádios de desenvolvimento e sistemas de produção

RESUMO – O objetivo deste estudo foi avaliar a massa de forragem e o valor nutritivo do capim-massai (*Megathyrsus maximus* x *Megathyrsus infestum*) a pleno sol (SPS) ou em sistema silvipastoril (SSP) nos diferentes estádios de desenvolvimento (ED). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com cinco repetições. Os tratamentos foram distribuídos em esquema fatorial 2 × 4, correspondendo a tipos de sistemas (SSP e SPS) e quatro estádios de desenvolvimento (estádio vegetativo–E1, pré-floração–E2, floração plena–E3 e maturidade após o florescimento–E4). Não houve efeito ($p>0,05$) da interação sistema x estágio de desenvolvimento da planta em nenhuma das variáveis avaliadas. A produção de massa forragem e componentes morfológicos do capim-massai não diferiram ($p>0,05$) entre o SSP e SPS. Entretanto, diferiram entre os estádios de desenvolvimento ($p\leq 0,05$), com efeito linear crescente para massa de forragem, porcentagem de colmo e material morto e decrescente para porcentagem de folha e relação folha:colmo. Dentre as variáveis de composição química apenas o teor de proteína se diferenciou ($p<0,05$) entre os sistemas de cultivo. Houve efeito ($p<0,05$) do estágio de desenvolvimento do capim-massai sobre as variáveis de composição química, com exceção do teor de hemicelulose e celulose. O volume máximo de gás oriundo da fermentação da matéria orgânica (Vf) da forragem cultivada em SSP foi 6% maior em relação ao SPS, assim como o *lag time* (L). À medida que a idade da planta forrageira avançou, houve redução na produção de Vf e L. A degradabilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) não diferiu entre os sistemas de cultivo e decaiu com o avançar dos estádios de desenvolvimento. O sombreamento causado pelo sistema silvipastoril não comprometeu a massa de forragem, valor nutritivo e a DIVMS do capim-massai em comparação ao sistema a pleno sol. O avanço do estágio de desenvolvimento do capim-massai aumenta a massa de forragem com maiores proporções de componentes morfológicos de baixo valor nutritivo, como colmo e material morto.

1. Introdução

Sistemas integrados são uma opção para o uso eficiente da terra e intensificação na produção de ruminantes. O sistema silvipastoril (SSP) ou integração pecuária floresta (IPF) é caracterizado por associar, em uma mesma área, o componente florestal, a espécie forrageira e o animal sob pastejo (Oliveira et al., 2017). A combinação desses componentes traz benefícios para o ecossistema solo-plantas-animal de maneira sustentável.

A escolha correta do componente florestal e forrageiro desempenha papel fundamental para garantir o sucesso da implantação do SSP. Dessa forma, a espécie florestal deve permitir que a incidência luminosa atinja o dossel forrageiro, deve possuir baixo potencial invasivo e fornecer produtos comercializáveis (Dias-Filho, 2006). No Brasil, o gênero *Eucalyptus* tem se destacado para uso em SSP, por apresentar tais características desejáveis, além de ser uma das espécies mais estudadas para esse propósito. A espécie forrageira deve ser adaptada às condições edafoclimáticas da região e ter boa capacidade produtiva, ser tolerante às condições geradas pelo sistema, principalmente ao sombreamento (GOBBI et al., 2009) e atender as exigências nutricionais dos animais. Dessa forma, o capim-massai (*Megathyrsus maximus* x *Megathyrsus infestus*) se torna uma opção para compor os SSP especialmente por tolerar de 30-50% de sombreamento (Andrade et al., 2004; Oliveira et al., 2014; Paciullo et al., 2016).

A sombra criada pelo componente arbóreo altera o microclima do sub-bosque por meio da redução da temperatura e luminosidade (Almeida et al., 2019). A redução da temperatura, por sua vez, desacelera o avanço dos estádios fenológicos da planta, mantendo-a em estádios mais iniciais e de melhor valor nutritivo (VN) (Gobbi et al., 2010). De fato, à medida que a planta amadurece, sobretudo na fase reprodutiva, há aumento na espessura das paredes celulares, elevando os teores de fibra, reduzindo o conteúdo celular e a digestibilidade (Rezaeifard et al., 2010; Tesk et al., 2018). Dessa forma, condições de manejo que mantenham a forrageira por mais tempo no estágio vegetativo podem trazer benefícios ao sistema de produção.

Embora se saiba que existe diferença no VN da forrageira em sistemas de pleno sol (SPS) e sombreados (Souza et al., 2010; Paciullo et al., 2016; Barros et al., 2019; Lima et al., 2019), ainda são escassas as informações sobre essa variação

nos diferentes estádios de desenvolvimento em sistemas integrados. Dessa forma, o desenvolvimento de pesquisas que avaliem as gramíneas tropicais nos diferentes estádios de desenvolvimento desempenha papel fundamental para definir o manejo ideal em diferentes sistemas.

A hipótese do trabalho é que a sombra causada pelo SSP irá reduzir a massa de forragem e melhorar o valor nutritivo do capim-massai quando comparado ao SPS. E que quanto mais avançado o estágio de desenvolvimento menor será o valor nutritivo. Diante do exposto, objetivou-se avaliar a massa de forragem e o valor nutritivo do capim-massai durante os diferentes estádios de desenvolvimento mantidos em SPS e em SSP.

2. Material e Métodos

2.1 Área experimental

O experimento foi conduzido no setor de Forragicultura e Pastagem na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Jaboticabal, São Paulo, Brasil (21°14’S e 48°17’O, 598 m acima do nível do mar), no período de fevereiro a junho de 2018 e de janeiro a junho de 2019. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico (Embrapa, 2006). Em novembro de 2017 foi realizada a análise de solo e não houve necessidade de adubação de manutenção (Lorenzi et al., 1997) (Tabela 1).

Tabela 1: Propriedades do solo (profundidade 0-20) em sistema silvipastoril (SSP) e pleno sol (SPS).

Propriedades	SSP	SPS
pH (CaCl ₂)	5,3	5,4
Matéria orgânica (g dm ⁻³)	26	25
P (g dm ⁻³)	38	36
S (g dm ⁻³)	5	5
Ca (mmol _c dm ⁻³)	24	26

Mg ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	13	13
K ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	2,8	3,0
Al ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	0	0
H + Al ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	31	28
Soma de bases ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	38,5	42,4
Capacidade de troca de cátion	69	70
Saturação por bases (V%)	56	60

O clima segundo classificação de Köppen é do tipo Aw, descrito como tropical com estação seca definida entre os meses de abril a setembro e concentração de chuvas nos meses de verão (outubro a março). A precipitação média anual é de 1369 mm, e a temperatura média do ar é 22,7 °C. Os dados de precipitação e temperatura foram extraídos do conjunto de dados pertencentes ao acervo da área e Agrometeorologia do Departamento de Ciências Exatas (Figura 1).

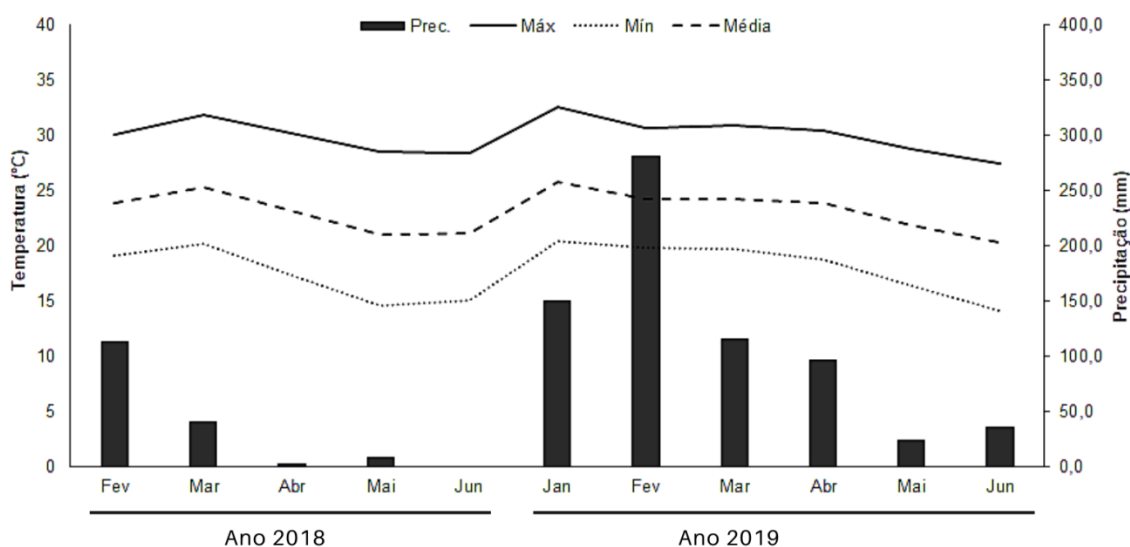


Figura 1. Precipitação acumulada, temperaturas médias, máximas e mínimas, registradas durante o período de coletas, dos dois anos experimentais (2018/2019).

2.2 Implantação dos sistemas

A área experimental de 3240 m² foi composta pelos SSP e SPS implantados em 2012. A gramínea *Megathyrsus maximus* × *Megathyrsus infestus* cv. Massai foi cultivada inicialmente em consórcio com milho. Após a colheita do grão utilizou-se

sistema de irrigação para auxílio na formação da pastagem. Na primavera, mês de setembro, introduziu-se ao sistema mudas de 1,2 metro de altura de *Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus urophylla* (*Eucalyptus urograndis*), em fileiras únicas, sentido Leste-Oeste no espaçamento de 9 × 1,5 m e 18 × 1,5 m. Cinco anos após a implantação (2017) foi feito o desbaste do componente arbóreo alcançando-se o espaçamento de 18 × 1,5 m.

2.3 Tratamentos e delineamento experimental

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com cinco repetições. Os tratamentos foram distribuídos em esquema fatorial 2 × 4, correspondendo a dois tipos de sistemas (SSP e SPS), durante quatro estádios de desenvolvimento (estádio vegetativo – E1, pré-floração – E2, floração plena – E3 e maturidade após o florescimento – E4).

Em janeiro de 2018 foi realizado o pastejo de homogeneização, feito com novilhas leiteiras (peso médio de 350 kg), preconizando-se a altura de resíduo de 25 cm. Após o pastejo foram distribuídas de forma aleatória, cinco gaiolas de exclusão de pastejo de 1 m² em cada sistema, para evitar que a forragem contida no interior da mesma fosse pastejada (Figura 2).



Figura 2. Gaiola de exclusão de pastejo.

Os cortes em cada estágio de desenvolvimento do capim-massai foram realizados segundo a metodologia descrita por Neel et al. (2015) (Figura 3). As amostragens do capim-massai foram realizadas por dois anos consecutivos nas seguintes datas e intervalos de corte (Figura 4).

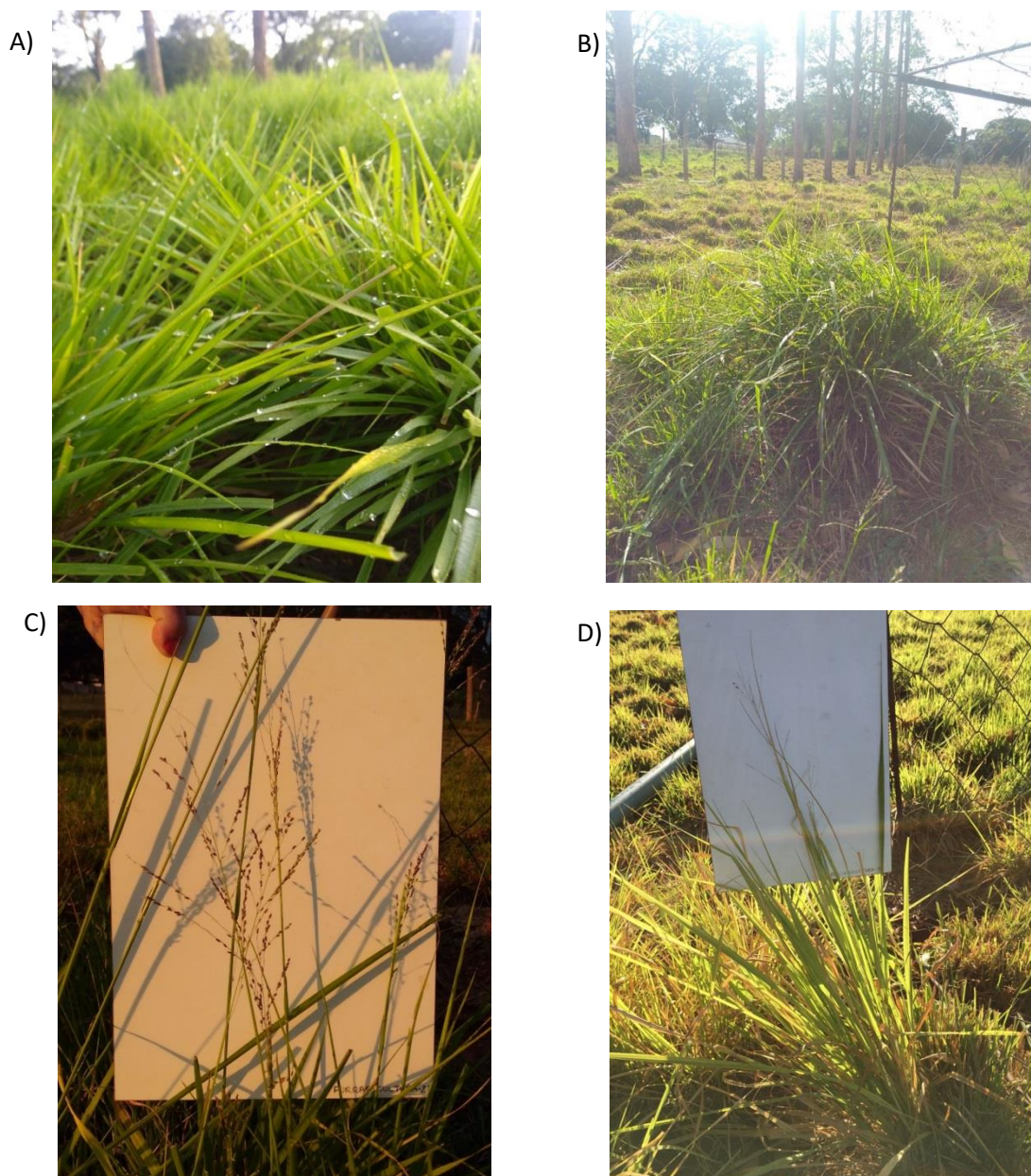


Figura 3. Estádios de desenvolvimento do capim-massai, vegetativo (A), pré-floração (B), floração plena (C) e maturidade após o florescimento (D).

		Estádio de desenvolvimento			
		Vegetativo	Pré floração	Floração plena	Maturidade
Ano 1 2018	Pleno sol	0 (14/02)	31 (15/03)	66 (23/04)	96 (23/05)
	Silvipastoril	0 (14/02)	40 (23/03)	83 (06/05)	115 (08/06)
Ano 2 2019	Pleno sol	0 (06/01)	38 (14/02)	87 (04/04)	135 (22/05)
	Silvipastoril	0 (06/01)	44 (21/02)	107 (24/04)	148 (04/06)
		Intervalo de corte (Datas de corte)			

Figura 4. Datas e intervalos entre cortes nos diferentes estádios de desenvolvimento do capim-massai em sistema a pleno sol (SPS) e sistema silvipastoril (SSP).

2.4 Avaliação de massa de forragem e composição química

Foi utilizada uma moldura de 0,25 m² para delimitar a área de amostragem dentro das gaiolas. As amostras de forragem, nos quatro estágios de desenvolvimento da gramínea foram coletadas a 5cm do solo. Após a coleta, o material foi pesado para obtenção da massa verde. Os componentes morfológicos foram separados em lâmina foliar (folha), colmo + bainha (colmo) e material morto (MM) obtidos a partir de uma subamostra. Esse material foi seco em estufa de circulação forçada de ar a 55 °C até peso constante para estimar a massa seca total de forragem (kg MS ha⁻¹) e determinar a proporção de seus componentes morfológicos (%).

Subamostras contendo a planta inteira foram utilizadas para determinação da composição química (AOAC, 1990). O teor de matéria seca (MS) foi determinado em estufa a 105 °C e de matéria mineral (MM) por combustão a 600 °C (AOAC, 1990). A matéria orgânica (MO) foi calculada pela equação $MO = 100 - MM$. As concentrações de fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) foram determinados usando procedimentos descritos pela ANKOM Technology (ANKON, 2006), e a lignina (LIG) por meio da hidrólise ácida. A

hemicelulose foi obtida pela diferença entre a %FDN e %FDA e a celulose pela diferença entre %FDA e %lignina. O teor de proteína bruta (PB) foi estimado utilizando um analisador de nitrogênio LECO® FP 528 (Leco Corporation, Michigan, EUA).

2.5 Produção de gás e degradabilidade *in vitro*

A cinética de produção de gás *in vitro* (Theodorou et al., 1994) foi avaliada em dois ensaios consecutivos (Maurício et al., 1999) com uso de 500 mg de amostra e frascos de incubação de volume interno de 125 mL. Sendo oito tratamentos (quatro estágios vegetativos da forragem x dois sistemas) e cinco repetições.

Em cada ensaio, os líquidos ruminais empregados como inóculo (*pool* do conteúdo de rúmen de três animais) foram coletados de três cordeiros fistulados no rúmen alimentados com feno de capim-massai, adaptados por 15 dias. As coletas de líquidos de rúmen ocorreram antes do fornecimento de volumoso aos animais. Os líquidos de rúmen foram coletados proporcionalmente para formação do *pool*. O inóculo tamponado foi preparado pela adição do *pool* de líquidos ruminais ao meio de incubação (tampão) na proporção de uma parte de líquido de rúmen para cada quatro partes de solução tampão (Goering e Van soest, 1970). Foram adicionados 75 mL dessa solução aos frascos de 125 mL preenchidos com CO₂. Os frascos foram selados, aferidos quanto à detenção de gases e armazenados em estufa climatizada a 39°C por 48 horas.

A pressão de gás nos frascos foi aferida às 3, 6, 9, 12, 24 e 48 horas de fermentação, utilizando-se um transdutor de pressão conectado a um *data logger* modelo “press DATA 800”. O valor registrado nas leituras foi convertido para volume de gás utilizando-se a equação específica para as condições laboratoriais (Eq. 1).

$$V = (5,4766 \times P) + 0,0934 \quad (1)$$

onde V é o volume de gás em mL e P é a pressão mensurada em psi. A produção de gás foi corrigida pela média de gás produzido pelo inóculo tamponado e aquele obtido a partir da amostra padrão, composta por feno de capim Tifton 85. Em cada ensaio foram utilizados dois frascos contendo amostra padrão e dois frascos unicamente com inóculo tamponado. A produção de gás acumulado durante as 48 horas foi expressa em mL g⁻¹ de matéria orgânica (MO).

A degradabilidade *in vitro* da MS (DIVMS) foi mensurada com 24 e 48 horas de incubação, onde nos respectivos horários as recipientes foram mergulhadas imediatamente no gelo e, abertas, o conteúdo das garrafas foi filtrado em papel filtro e mensurado o pH. Em seguida, os resíduos das incubações foram secos em estufa de ventilação forçada a 55 °C por 24 horas e posteriormente pesados em balança de precisão. A DIVMS foi calculado pela diferença entre o peso da forragem antes da incubação e o resíduo após a incubação, corrigido para MS.

2.6 Análises estatísticas

Os dados de massa de forragem, componentes morfológicos, composição química e DIVMS foram submetidos a análises de variância (ANOVA) de acordo com o seguinte modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + S_i + E_j + (SE)_{ij} + \epsilon_{ijk}.$$

Onde: μ = média geral; S_i = efeito do sistema i ; E_j = efeito do estágio de desenvolvimento j ; SE_{ij} = efeito de interação entre estágio j e o sistema i ; ϵ_{ijk} = erro aleatório associado a cada observação.

Os dados foram testados para normalidade e homogeneidade da variância pelos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente. Quando significativo, os sistemas foram comparadas pelo teste t , considerando $p < 0,05$. Quando observado diferença entre os estágios de desenvolvimento, foi utilizado contrastes polinomiais ortogonais. Todas as análises foram realizadas utilizando o programa estatístico R (Versão 4.0.2).

O *lag time* (L) foi estimado por meio do modelo logístico unicompartimental de Schofield et al. (1994) utilizando-se o seguinte modelo:

$$V_t = V_f \times (1 + \exp (2 - 4 \times S \times (t - L))) - 1$$

onde V_f = volume final de gás acumulado (mL); S = taxa de degradabilidade (h); t = tempo (h); L = *lag time* (h). As médias foram comparadas pelo teste de Tukey, diferenças significativas foram consideradas quando $p < 0,05$.

3. Resultados

Os tipos de sistemas de cultivo não afetaram a massa de forragem e os componentes morfológicos do capim-massai (Tabela 2; $p > 0,05$). A massa de média de forragem do capim-massai foi de 5,7 toneladas de MS ha^{-1} , composta por 58% de folhas, 21% de colmos e 20% de material morto.

A produção de massa de forragem e componentes morfológicos diferiram entre os estádios de desenvolvimento (Tabela 2; $p < 0,05$). Houve aumento linear significativo na massa de forragem, assim como nas proporções de colmo e material morto com o avanço da maturidade da planta. De forma contrária, o avanço nos estádios de desenvolvimento resultou na redução linear na porcentagem de folhas e na relação folha:colmo. A massa de forragem aumentou em 189% no E4 em relação ao E1. O incremento na massa de forragem no E4 foi composto pelo aumento de 261% na proporção de colmo e 233% na proporção de material morto nas plantas em comparação ao E1. No entanto, o avanço do estágio de desenvolvimento reduziu em 48% na proporção de folhas no E4 em relação ao E1.

Tabela 2: Massa de forragem total e componentes morfológicos do capim-massai em sistema a pleno sol (SPS) e em silvipastoril (SSP) em diferentes estádios de desenvolvimento (ED)

Variável	Sistema (S)		EPM	Estádio de desenvolvimento (ED)				Efeito	P-valor		
	SPS	SSP		1	2	3	4		S	ED	S x ED
Massa ^a	5740	5704	2811	2931	4322	7006	8475	LIN	0,959	<0,001	0,736
Folha (%)	58,74	58,14	11,33	83,41	65,96	42,80	42,99	LIN	0,826	<0,001	0,523
Colmo (%)	20,56	21,32	10,23	8,25	15,65	29,31	29,71	LIN	0,762	<0,001	0,769
MM (%) ^b	20,68	20,53	12,23	8,34	18,39	27,36	27,57	LIN	0,959	0,004	0,953
RFC ^c	5,10	5,19	3,09	11,98	5,23	1,76	1,99	LIN	0,909	<0,001	0,417

^a massa seca total (kg MS ha⁻¹); ^b material morto; ^c relação folha: colmo; Linear (LIN). Valores de p<0,05 se diferem pelo teste t.

A interação sistema × estágio de desenvolvimento da planta não teve efeito sobre as variáveis da composição química do capim-massai (Tabela 3; $p > 0,05$). O tipo de sistema de cultivo não afetou significativamente a maior parte das variáveis de composição química, com exceção do teor de PB. O teor de PB na pastagem cultivada sob o SSP foi superior em 10% quando comparado à concentração de PB no capim-massai em plano sol. Houve efeito ($p < 0,05$) do estágio de desenvolvimento da planta sobre as variáveis de composição química, com exceção no teor de hemicelulose e celulose. Essas frações compuseram em média 34% da MS da forragem, independentemente do estágio de desenvolvimento avaliado. O teor de FDN nas plantas apresentou efeito quadrático, com maior teor no E2. Os teores de FDA e LIG apresentaram aumento linear ($p < 0,05$), com incremento de 7% e 29% do E3 em relação ao E1, respectivamente. Os teores de PB e cinzas apresentaram efeito linear decrescente, com redução de 59% e 8% do E1 para o E4, respectivamente.

Tabela 3: Composição química do capim-massai em sistema a pleno sol (SPS) e em silvipastoril (SSP) em diferentes estádios de desenvolvimento (ED)

Variável	Sistema (S)		EPM	Estádio de desenvolvimento (ED)				Efeito	P-valor		
	SPS	SSP		1	2	3	4		S	ED	S x ED
PB ^a	7,65	8,44	1,45	11,87	8,13	6,58	4,80	LIN	0,023	<0,001	0,994
FDN ^b	74,24	73,66	2,23	73,61	75,38	73,61	73,20	QUA	0,243	0,020	0,250
FDA ^c	39,19	39,07	2,22	37,66	38,55	39,78	40,44	LIN	0,818	0,002	0,879
HEM ^d	35,39	34,57	3,19	35,38	35,75	34,20	34,65	NS	0,292	0,488	0,787
CEL ^e	34,74	34,52	2,00	34,79	34,46	35,04	34,25	NS	0,665	0,673	0,817
LIG ^f	2,94	3,40	1,08	2,89	2,53	3,48	3,74	LIN	0,074	0,004	0,406
CINZAS	10,12	10,26	1,19	10,58	11,01	9,46	9,73	LIN	0,649	<0,001	0,859

^a proteína; ^b Fibra em detergente neutro; ^c Fibra em detergente ácido; ^d hemicelulose; ^e celulose; ^f LIGININALLinear (LIN); Quadrático (QUA); Não significativo (NS). Valores de $p \leq 0,05$ se diferem pelo teste t.

Não houve efeito de interação entre os fatores sistemas de cultivo × estágio de desenvolvimento ($p>0,05$) Vf e L. O volume máximo de gás oriundo da fermentação da matéria orgânica presente no capim-massai variou em $0,10 \text{ mL g}^{-1} \text{ MO}$, sendo o Vf da forragem cultivada em SSP foi 6% maior ($p=0,0389$) do que Vf provido do pasto cultivado em SPS. O *lag time* apresentou resposta semelhante, o capim-massai em SSP apresentou L 84% superior ($p=0,0213$) a forrageira cultivada a pleno sol (Tabela 4).

Tabela 4: Parâmetros de cinética ruminal *in vitro* de capim-massai em sistema a pleno sol (SPS) e em silvipastoril (SSP)

Variável	Sistema (S)		P- valor
	SPS	SSP	
Vf ($\text{mL g}^{-1} \text{ MO}$) ^a	$158 \pm 3,79$	$168 \pm 4,27$	0,0389
L (h) ^b	$2,90 \pm 0,746$	$5,36 \pm 0,759$	0,0213

^a Volume final de gás produzido em $\text{mL g}^{-1} \text{ MO}$ de matéria orgânica; ^b Lag time em horas. Valores de $p \leq 0,05$ se diferem pelo teste tukey.

À medida que se elevou a idade da planta forrageira, com o avanço do estágio de desenvolvimento, houve redução na produção de Vf. O volume máximo de gás proveniente da fermentação da matéria orgânica foi observado durante o E1 que, quando comprado com E4 teve redução foi 23%. Não se constatou diferença no período de colonização entre os estádios E1 e E2. Nesses estágios o lag time foi superior em 74% quando comparado aos demais estágios que não diferiram entre si ($p=0,0098$) (Tabela 5).

Tabela 5: Parâmetros de cinética ruminal *in vitro* de capim-massai em diferentes estádios de desenvolvimento (ED)

Variável	Estágio de Desenvolvimento (ED)				P-valor
	1	2	3	4	
Vf ($\text{mL g}^{-1} \text{ MO}$) ^a	$196 \pm 6,02 \text{ a}$	$164 \pm 6,00 \text{ b}$	$140 \pm 4,55 \text{ c}$	$150 \pm 4,69 \text{ bc}$	< 0,0001
L (h) ^b	$6,37 \pm 1,06 \text{ a}$	$6,79 \pm 1,11 \text{ a}$	$1,51 \pm 1,05 \text{ b}$	$1,85 \pm 1,85 \text{ b}$	0,0098

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferiram entre si pelo teste de Tukey ($p \geq 0,05$)

^a Volume final de gás produzido em ml por g de matéria orgânica; ^b Lag time em horas.

A média de pH encontra-se dentro esperando com valores de 7,0 e 6,9, em 24h e 48h, respectivamente. Não houve efeito da interação sistema x estágio de desenvolvimento (Tabela 6; $p>0,05$) sobre a DIVMS. Os sistemas de cultivo também não afetaram a DIVMS nos tempos de incubação de 24h e 48h ($p>0,05$). A DIVMS em ambos os tempos avaliados apresentou efeito linear decrescente ($p<0,001$) com o avanço dos estádios de desenvolvimento, com redução de aproximadamente 34% da DIVMS no E1 para o E4 em ambos os períodos de incubação.

Tabela 6: Degradabilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) do capim-massai em sistema a pleno sol (SPS) e em silvipastoril (SSP) em diferentes estádios de desenvolvimento (ED) após 24h e 48h de incubação

Variável	Sistema (S)		EPM	Estádio de desenvolvimento (ED)				Efeito	P-valor		
	SPS	SSP		1	2	3	4		S	ED	S x ED
DIVMS 24h	28,45	29,76	0,78	34,40	31,98	27,49	22,54	LIN	0,235	<0,001	0,127
DIVMS 48h	44,79	45,38	0,71	55,24	50,20	39,40	35,48	LIN	0,562	<0,001	0,147

Linear (LIN). Valores de $p \leq 0,05$ se diferem pelo teste t.

4. Discussão

A similaridade na massa de forragem observada entre os sistemas sugere que as condições edafoclimáticas impostas pelas árvores ao pasto no subosque não foi limitante. Isso é possível devido à capacidade da planta forrageira em adaptar-se à condição de redução na quantidade e na qualidade de luz solar (Andrade et al., 2004; Oliveira et al., 2014; Paciullo et al., 2016). Desse modo, infere-se que em cenário semelhante ao desta pesquisa, pode-se utilizar como componente arbóreo o eucalipto em espaçamento de 18 m, sem que a massa de forragem do capim-massai seja afetada. Em um estudo anterior na mesma área desta pesquisa, Van Cleef (2017) observou que espaçamentos mais densos de eucalipto reduzem a massa de forragem do capim-massai. Lima et al. (2019) constataram que a idade da árvore também pode afetar o desenvolvimento de gramíneas em SSP devido ao aumento da copa das árvores e sombreamento no extrato inferior. Os autores reportaram que entre 6-7 anos após o plantio não houve redução na massa de forragem da *Urochloa decumbens*. O período experimental deste estudo ocorreu entre o 6º e 7º ano após o plantio das mudas de eucalipto, o que pode explicar a semelhança entre os sistemas avaliados. O fato de a massa de forragem não variar entre os sistemas garante que o desempenho dos animais em pastejo não seja afetado, além de fornecer o conforto térmico ao animal (Oliveira et al., 2018), eficiência no uso da terra e diversificação das fontes de renda dentro da propriedade (Broom et al., 2013; Pezzopane et al., 2015).

A composição química do capim-massai apresentou melhor valor nutritivo no SSP devido ao teor de PB na forrageira. Esses resultados corroboram com as respostas de gramíneas cultivadas em sistemas de produção integrado em condições similares ao deste trabalho (Sousa et al., 2010; Paciullo et al., 2016; Barros et al., 2019; Lima et al., 2019). Kephart & Buxton (1993) relacionam o maior teor de proteína em plantas submetidas ao sombreamento ao tamanho das células, uma vez que plantas sombreadas apresentam menor tamanho e com a quantidade de nitrogênio praticamente constante por célula resulta em maior concentração deste nutriente. Além disso, segundo esses autores, o estresse causado pelo sombreamento pode reduzir a quantidade de fotoassimilados para o desenvolvimento da parede celular secundária mantendo mais conteúdo celular, o

qual contém maiores teores de proteína. Wilson (1996) atribui o aumento da proteína em ambientes sombreados à maior umidade do solo, que contribui para acelerar o processo de degradação da matéria orgânica e a ciclagem de nutrientes no solo e, consequentemente maior aproveitamento pelas plantas. Neel et al. (2016) relaciona esse efeito ao desenvolvimento das plantas, que quando submetidas ao sombreamento retardam o tempo para atingir a maturidade fisiológica. Sabe-se que plantas jovens têm maior teor de proteína em relação às que se encontram completamente desenvolvidas.

Com o avanço do ED do capim-massai houve decréscimo na porcentagem de folha e, inversamente houve crescimento da porcentagem de colmo e material morto. Comportamento também observado por Caldeira (2016) em capim-massai, Oliveira et al. (2013) em diferentes cultivares de *Cynodon* e Peralta et al. (2020) para cultivares de *Urochloa*. À medida que a forrageira se desenvolve fisiologicamente, passando do estágio vegetativo para o reprodutivo tem-se o alongamento de colmo, cessando o aparecimento de novas folhas (HODGSON, 1990). O avanço da idade resultou em maior proporção de colmos por dois motivos. O primeiro pode estar relacionado ao aumento da massa e do nível de auto-sombreamento do dossel. Nesses casos, a principal resposta da planta é alongar colmo para expor as folhas mais jovens à luz. O segundo está relacionado ao próprio florescimento, que no capim-massai é induzido pela redução na duração do dia, assim, com o estímulo ao florescimento, o capim investiu mais energia na produção de colmos, o que reduz a RFC.

O avanço da idade da planta é responsável pelo espessamento e a lignificação da parede celular, aumentando a proporção dos constituintes das fibras (Garcez et al., 2020). Células vegetais jovens possuem apenas uma camada externa, denominada parede primária, porém, à medida que amadurecem, forma-se a parede secundária, constituída principalmente por carboidratos estruturais, o que atribui maiores quantidades de fibra na forragem em ED mais avançados (Asaad & Yazd, 2011). Fato observado neste estudo, no qual os teores de FDA e LIG aumentaram linearmente com o avanço do estágio de desenvolvimento da forrageira o que corrobora como os resultados apresentados por Garcez et al. (2010; 2016) e Monção et al. (2018). A mudança na proporção de parede e conteúdo celular

também tem relação com a diminuição nos teores de PB (Wilson, 1994) em razão da redução da disponibilidade de nitrogênio devido a maior complexação de compostos nitrogenados à fração FDA (Garcez et al., 2016). Outro fator ligado à redução do teor proteico é a diminuição da RFC, uma vez que são nas folhas onde encontram-se maiores concentrações de PB (Van Soest, 1982). Baixos teores de proteína limitam o consumo voluntário do animal, pois a baixa disponibilidade de nitrogênio como substrato para síntese microbiana reduz a atividade dos microrganismos no rúmen (Van Soest et al., 1982).

A técnica *in vitro* de produção de gases assume a conversão de todas as principais fontes de carboidratos em gás carbônico, gás metano e, também a reação de ácidos graxos voláteis (Santo et al., 2017). Sabe-se que o volume de gás produzido durante o processo de fermentação *in vitro* está relacionado à degradabilidade do substrato no meio (Lima et al., 2018). Nesta pesquisa, apesar de ser observado maior volume acumulado de gases (mL g^{-1} MS) no capim-massai cultivado em SSP, não foi constatado diferença na DIVMS quando comparado ao pleno sol. Essa resposta sugere que, o aumento na produção de gás não foi decorrente unicamente da DIVMS e que o teor de lignina na forragem pode ter limitado a degradação do substrato.

Quanto aos estágios de desenvolvimento da gramínea, constatou-se que com o avanço de maturidade da forrageira houve aumento no teor de fibra e redução no aporte proteico. Esse fato pode ter resultado em decréscimos no volume máximo de gás produzido durante 48h e na redução da DIVMS. Sabe-se que o sincronismo entre energia e proteína influencia fortemente o volume final de gás na fermentação *in vitro*. Da mesma forma que a lignificação do tecido estrutural dificulta a atuação das enzimas digestivas produzidas pelos microrganismos ruminais diminuindo a degradabilidade (Garcez et al., 2016). Resultados semelhantes foram observados em capim-massai (Caldeira, 2016; Garcez et al., 2020), capim-marandu (Velasquéz et al., 2010) e diferentes cultivares de *Cynodon* (Oliveira, et al., 2013), nos quais houve redução da degradabilidade com o avançar da idade da forrageira.

Diferentes fatores podem afetar o tempo de colonização dos microrganismos e a DIVMS dos alimentos. A composição química, as características físicas da parede celular e a presença de carboidratos prontamente disponíveis são alguns

parâmetros determinantes no *lag time* e na degradabilidade (Xue et al., 2019; Garcez et al., 2020). Nesta pesquisa, a forrageira cultivada no SSP teve maior *lag time*. Esse resultado pode ser devido ao maior tempo de colonização requerido pelas bactérias celulolíticas, uma vez que houve tendência no aumento do teor de lignina ($p=0,074$) no do capim-massai submetido ao SSP, e populações de bactérias celulolíticas possuem crescimento mais lento, portanto, demandam maior *lag time*.

com tendência na redução do teor de

No geral, plantas em ambientes sombreados tendem a apresentar menor velocidade de desenvolvimento e permanecer em estágio vegetativo por mais tempo (Sousa et al., 2010; Neel et. al, 2015). Enquanto, plantas cultivadas a pleno sol apresentam maior taxa fotossintética propiciando crescimento acelerado (Lima et al., 2019). O capim-massai em SSP apresentou atraso na maturidade fisiológica em comparação ao pleno sol (Figura 2), tornando a forrageira fisiologicamente jovem por mais tempo, prolongando a fase vegetativa (Lopes et al., 2017). Essa é uma característica desejável nos sistemas de produção animal, pois a qualidade nutricional da forragem geralmente declina com avanço da idade ou durante a fase reprodutiva (Collins & Newman, 2018).

5. Conclusão

O sombreamento causado pelo sistema silvipastoril não comprometeu a massa de forragem, valor nutritivo e a DIVMS do capim-massai em comparação ao sistema a pleno sol, exceto pelo aumento no teor de PB. O sombreamento também fez com que o capim-massai permanecesse estágio vegetativo por mais tempo. O avanço do estágio de desenvolvimento da forrageira resulta na diminuição da proporção de folhas e do seu valor nutritivo.

6. Referências

ALMEIDA EM, ALMEIDA RG, MIYAGI ESM, FREITAS PVDX, RIBEIRO FM, FERNANDES PB, GARCIA EDC. (2019). Sistemas silvipastoris: uma abordagem sobre a integração dos componentes bióticos e abióticos. **Revista Científica Rural**, 21. DOI: <https://doi.org/10.30945/rcr-v21i2.353>

- ANDRADE CMS, VALENTIM JF, CARNEIRO JC, VAZ FA. (2004). Crescimento de gramíneas e leguminosas forrageiras tropicais sob sombreamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, 39(3):263-270. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2004000300009>
- AOAC, **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists**, 17th edn. Gaithersburg, MD: Association of Official Analytical Chemists, 2000.
- ASAADI AM, YAZDI AK. (2011). Phenological stage effects on forage quality of four forbs species. **Jounal Food, Agriculture & Environment**, 9:380-384.
- BARROS JS, MEIRELLES PRL, GOMES VC, PARIZ CM, FACHIOLLI DF, SANTANA EAR, GOMES TGJ, COSTA AM, SOUZA DM. (2019). Valor nutritivo do capim-xaraés em três intensidades luminosas. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, 71:1703-1711. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-4162-10801>
- BROOM DM, GALINDO FA, MURGUEITIO E. (2013). Sustainable, efficient livestock production with high biodiversity and good welfare for animals. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, 280:20132025. DOI: <https://doi.org/10.1098/rspb.2013.2025>
- CALDEIRA RR. **Avaliação da produção e da qualidade do Capim *panicum maximum* cv. Massai**. 2016. (Dissertação em ciência animal) Universidade de Brasília, Brasília, 2016.
- COLLINS M, NEWMAN YC. (2018). **Forage quality**. p. 269-285. In M. Collins, C.J. Nelson, K.J. Moore, and R. F Barnes. Forages Volume 1, 7th ed. John Wiley & Sons, Hoboken, NJ.
- DEINUM B, SULASTRI RD, ZEINAB MHJ, MAASSEN A. (1996). Effects of light intensity on growth, anatomy and forage quality of two tropical grasses (*Brachiaria brizantha* and *Panicum maximum* var. Trichoglume). **Netherlands Journal of Agricultural Science**, 44:111-124. DOI: [10.18174 / njas.v44i2.551](https://doi.org/10.18174/njas.v44i2.551)
- DETMANN E, VALENTE EE, BATISTA ED, HUHTANEN P. (2014). An evaluation of the performance and efficiency of nitrogen utilization in cattle fed tropical grass pastures with supplementation. **Livestock Science**, 162:141-153. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2014.01.029>
- DIAS FILHO MB. (2006). **Sistema silvipastoril na recuperação de pastagens degradadas**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental (Documento 258).
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. **Seminário Nacional de Levantamento e Conservação de Solos**. Brasília: EMBRAPA, ed. 2, p.306, 2006.

- GARCEZ BS, ALVES AA, ARAÚJO DLC, LACERDA MDSB, SOUZA LGC, CARVALHO LF. (2016). Degradabilidade ruminal do capim colônia (*Panicum maximum* jacq. cv. colônia) em três idades pós-rebrota. **Acta Veterinaria Brasilica**, 10:130-134. DOI: [10.21708 / avb.2016.10.2.5513](https://doi.org/10.21708/avb.2016.10.2.5513)
- GARCEZ BS, ALVES AA, MACEDO EDO, SANTOS CMD, ARAÚJO DLDC, LACERDA MDS. (2020). B. Ruminal degradation of *Panicum* grasses in three post-regrowth ages. **Ciência Animal Brasileira**, 21. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-6891v21e-55699>
- GOBBI KF, GARCÍA R, GARCEZ NETO AF, PEREIRA OG, ROCHA GC. (2010). Valor nutritivo do capim-braquiária e do amendoim forrageiro submetidos ao sombreamento. **Archivos de Zootecnia**, 59:379-390. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982009000900002>
- GOBBI KF, GARCIA R, GARCEZ NETO AF, PEREIRA OG, VENTRELLA MC, ROCHA GC. (2009). Características morfológicas, estruturais e produtividade do capim-braquiária e do amendoim forrageiro submetidos ao sombreamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 38:1645-1654. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982009000900002>
- GOERING HK, VAN SOEST PJ. (1970) Forage fiber analysis: apparatus reagents, procedures and some applications. Washington, DC: USDA, 1970. 20p. (Agricultural Handbook 379).
- HODGSON J. **Grazing management** – science into practice. Essex: Longman Scientific & Technical, 1990, 203p.
- KEPHART KD, BUXTON DR. (1993). Forage quality response of C3 and C4 perennial grasses to shade. **Crop Science**, 33:831-837. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci1993.0011183X003300040040x>
- LIMA MA, PACIULLO DS, SILVA FF, MORENZ MJ, GOMIDE CA, RODRIGUES RA, BRETAS IL, CHIZZOTTI FH. (2019). Evaluation of a long-established silvopastoral *Brachiaria decumbens* system: plant characteristics and feeding value for cattle. **Crop and Pasture Science**, 70: 814-825. DOI: [10.1071 / CP19027](https://doi.org/10.1071/CP19027)
- LOPES C, PACIULLO DSC, ARAÚJO SAC, GOMIDE CAM, MORENZ MJF, VILELA SDJ. (2017). Herbage mass, morphological composition and nutritive value of signalgrass, submitted to shading and fertilization levels. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, 69:225–233. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-4162-9201>
- LORENZI JO, MONTEIRO PA, MIRANDA FILHO HS, RAIJ, B. van. Raízes e tubérculos. In: RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI,

- A. M. C. (Eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas**, 1997. 221-229. (IAC. Boletim Técnico, 100).
- MAURICIO RM, MOULD FL, DHANOA MS, OWEN E, CHANNA KS, THEODOROU MK. (1999). A semi-automated in vitro gas production technique for ruminant feedstuff evaluation. **Animal Feed Science and Technology**, 79:321–330. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(99\)00033-4](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(99)00033-4)
- MONÇÃO FP, COSTA MAMS, RIGUERIA JPS, MOURA MMA, JÚNIOR VRR, GOMES VM, LEAL DB, MARANHÃO CMA, ALBUQUERQUE CJ, CHAMONE JMA. (2019). Yield and nutritional value of BRS Capiapu grass at different regrowth ages. **Semina: Ciências Agrárias**, 40:2045-2056. DOI: [10.5433 / 1679-0359.2019v40n5p2045](https://doi.org/10.5433/1679-0359.2019v40n5p2045)
- NEEL JPS, FELTON EED, SINGH S, SEXSTONE AJ, BELESKY DP. (2016). Open pasture, silvopasture and sward herbage maturity effects on nutritive value and fermentation characteristics of cool-season pasture. **Grass and Forage Science**, 71:259-269. DOI: <https://doi.org/10.1111/gfs.12172>
- OLIVEIRA CC, ALVES FV, DE ALMEIDA RG, GAMARRA EL, VILLELA SDJ, DE ALMEIDA MARTINS PGM. (2018). Thermal comfort indices assessed in integrated production systems in the Brazilian savannah. **Agroforestry systems**, 92:1659-1672. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10457-017-0114-5>
- OLIVEIRA EP, SILVEIRA, LPO, TEODORO PE, ASCOLI FG, TORRES FE. (2014). Efeito do sombreamento e do incrustamento de sementes sobre o desenvolvimento de cultivares de *Panicum maximum* Jacq. **Bioscience Journal**, 30: 682-1691.
- OLIVEIRA FLR, MOTA VA, RAMOS SM, SANTOS LDT, OLIVEIRA NJF, GERASEEV LC. (2013). Comportamento de *Andropogon gayanus* cv.'planaltina' e *Panicum maximum* cv. 'tanzânia' sob sombreamento. **Ciência Rural**, 43. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782013000200026>
- PACIULLO DSC, LOPES FCF, MALAQUIAS JUNIOR JD, VIANA FILHO A, RODRIGUEZ NM, MORENZ MJF, AROEIRA LJM. (2009). Características do pasto e desempenho de novilhas em sistema silvipastoril e pastagem de braquiária em monocultivo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 44:1528-1535. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2009001100022>
- PACIULLO, D. S. C.; GOMIDE, C. A. M.; CASTRO, C. R. T.; MAURÍCIO, R. M.; FERNANDES, P. B.; MORENZ, M. J. F. (2017). Morphogenesis, biomass and nutritive value of *Panicum maximum* under different shade levels and fertilizer nitrogen rates. **Grass and Forage Science**, 72:590–600. DOI: [10.1111 / gfs.12264](https://doi.org/10.1111/gfs.12264)

- PERALTA MLA, GRACIA ARR, OLMEDO FM, MARTINEZ MP, AGUIRRE HA, PEREZ LG. (2020). Physical-chemical quality of *Urochloa* grasses in different phenological stages. **International Journal of Agriculture, Environment and BioResearch**, 5:162-171. DOI: [10.35410/IJAEB.2020.5536](https://doi.org/10.35410/IJAEB.2020.5536)
- PEZZOPANE JRM, BOSI C, NICODEMO MLF, SANTOS PM, CRUZ PG, PARMEJIANI RS. (2015). Microclimate and soil moisture in a silvopastoral system in southeastern Brazil. **Bragantia**, 74:110-119. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-4499.0334>
- REZAEIFARD M, JAFARI AA, ASSAREH MH. (2010). Effects of phenological stages on forage yield quality traits in cocksfoot (*Dactylis glomerata*). **Journal of Food, Agriculture and Environment**, 8:365-369.
- SANTO AX, SILVA LDF, LANÇANOVA JAC, RIBEIRO ELA, MIZUBUTI IY, HENZ ÉL. (2017). Fracionamento de carboidratos e proteínas, cinética de degradação ruminal in vitro pela técnica de produção de gás, de rações suplementares contendo torta de girassol. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, 69. DOI <https://doi.org/10.1590/1678-4162-8761>
- SCHOFIELD P, PITT RE, PELL AN. (1994). Kinetics of fiber digestion from in vitro gas-production. **Journal of Animal Science**, 72:2980–2991. DOI: [10.2527 / 1994.72112980x](https://doi.org/10.2527/1994.72112980x)
- SOUSA LF, MAURÍCIO RM, MOREIRA GR, ALVES LC, BORGES I, PEREIRA LGR. (2010). Nutritional evaluation of “Braquiarão” grass in association with “Aroeira” trees in a silvopastoral system. **Agroforest Systms**, 79:89–199. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10457-010-9297-8>
- TESK CRM, PEDREIRA BC, PEREIRA DH, PINA DDS, RAMOS TA, MOMBACH MA. (2018). Impact of grazing management on forage qualitative characteristics: a review. **Scientific Electronic Archives**, 11:188-197. DOI: [10.36560 / 1152018667](https://doi.org/10.36560/1152018667)
- THEODOROU MK, WILLIAMS BA, DHANOA MS, MCALLAN AB, FRANCE J. (1994). A simple gas-production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds. **Animal Feed Science and Technology**, 48:185–197. DOI: [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(94\)90171-6](https://doi.org/10.1016/0377-8401(94)90171-6)
- VAN CLEEF FOS. **Produção e bem-estar de ovinos em sistema silvipastoril**. 2017. p. 68 (Dissertação Mestrado em Zootecnia) Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2017.
- VAN SOEST P. J. (1984). **Nutritional ecology of the ruminant**. New York: Cornell University Press; 476p.

- VELÁSQUEZ PAT, BERCHIELLI TT, REIS RA, RIVERA AR, DIAN PHM, TEIXEIRA IAMDA. (2010). Composição química, fracionamento de carboidratos e proteínas e digestibilidade *in vitro* de forrageiras tropicais em diferentes idades de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 39:1206-1213. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982010000600007>
- WILSON JR. (1994). Cell wall characteristics in relation to forage digestion by ruminants: review. **Journal Agriculture Science**, 122:173-182. DOI: 10.1017/S0021859600087347.
- XUE Z, LIU N, WANG Y, YANG H, WEI Y, MORIEL P, PALMER E, ZHANG Y. (2019). Combining Orchardgrass and Alfalfa: Effects of Forage Ratios on *In vitro* Rumen Degradation and Fermentation Characteristics of Silage Compared with Hay. **Animals**, 10:59. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani10010059>

CAPÍTULO 3 – Fluxos de CH₄ e N₂O em pastos de capim-massai em sistema silvipastoril com aplicação de bioestimulante foliar

RESUMO - Objetivou-se avaliar as emissões de metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) em sistema silvipastoril (SSP) e pleno sol (SPS) com a aplicação de bioestimulante foliar. O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado, com cinco repetições. Os tratamentos foram distribuídos em esquema fatorial 2 × 2, sendo dois tipos de sistemas (silvipastoril e pleno sol) e dois tipos de aplicações do bioestimulante foliar (com e sem). Durante os ciclos de pastejo as maiores emissões e consumos de CH₄ ocorreram no 4º ciclo, com fluxo médio de 149±64 µg CH₄ m⁻² h⁻¹ e -122±73 µg CH₄ m⁻² h⁻¹ em 2019 e 2020, respectivamente. Os maiores fluxos de N₂O foram observados no 1º ciclo de pastejo, com fluxo médio de 80±70 µg N₂O m⁻² h⁻¹ e 62±21 N₂O µg m⁻² h⁻¹ em 2019 e 2020, respectivamente. O uso dos diferentes sistemas e a aplicação do bioestimulante não interferiu nas emissões cumulativas de CH₄. Enquanto, a aplicação do bioestimulante foliar reduziu a emissão cumulativa de N₂O no 2º ciclo de pastejo e o SSP aumentou a emissão no 3º ciclo de pastejo. Pastagens tropicais funcionam como fonte e dreno nas emissões de N₂O e CH₄. Os resultados demonstram que o SSP possui potencial para emitir mais N₂O em comparação ao SPS, enquanto a aplicação de bioestimulante foliar apresenta potencial para reduzir essas emissões. No entanto, outros fatores que controlam os fluxos dos gases de efeito estufa vão além do sistema e uso de bioestimulante foliar. Estudos futuros devem ser realizados para verificar quais são os principais controladores na emissão de gases de efeito estufa em diferentes sistemas de pastagens tropicais e diferentes doses de bioestimulantes.

1. Introdução

As mudanças climáticas recentes têm como principal causa o aumento da concentração atmosférica dos gases de efeito estufa (GEE), que vem desde a era pré-industrial até os dias atuais, tais mudanças são causadas principalmente pelo aumento da emissão de dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O) (Prather et al., 2012; Cardoso et al., 2020; Ruggieri et al., 2020). Uma parcela dessas emissões vem do setor agropecuário, tanto pela emissão de CH_4 entérico durante a fermentação das fibras, emissão de N_2O de excretas e adubação do solo. Os solos podem atuar como fontes e drenos de GEE. Como no Brasil o principal sistema de criação de ruminantes ocorre sob pastejo, é de grande importância entender a dinâmica destes gases no solo assim como buscar soluções para reduzir suas emissões. Periodicamente são lançadas novas tecnologias que buscam a otimização da produção forrageira, com isso, a avaliação dos seus efeitos em relação à emissão de GEE se tornam relevantes.

Dentre os principais GEE, o N_2O se destaca pelo seu potencial de aquecimento, que é 265 vezes maior em relação ao CO_2 (MCTI, 2014). No solo as principais vias de formação deste gás estão ligadas aos processos de nitrificação e desnitrificação, os quais têm relação com o teor de nitrogênio (N), a umidade e a temperatura do solo (Signor & Cerri, 2013; Cardoso et al., 2020). Uma vez que a disponibilidade de N é indispensável para a formação do N_2O , o melhor aproveitamento deste nutriente pela planta diminui a disponibilidade de N no solo para a formação deste GEE.

As emissões de CH_4 no solo são mediadas por microrganismos e fatores abióticos, sendo que condições de anaerobiose favorecem a produção do gás enquanto sob de aerobiose, o solo pode atuar como sumidouros de CH_4 (Raposo et al., 2020). As emissões de CH_4 são reguladas pela temperatura e umidade do solo, desde que haja disponibilidade de C-lábil (Cardoso et al., 2019). Dessa forma, a redução da temperatura e a manutenção da umidade por mais tempo em SSP podem afetar a produção de CH_4 . Raposo et al., (2020) observaram que o aumento de N no sistema de pastagens aumenta o dreno de CH_4 pelo solo. Portanto, devido ao fato de bioestimulante foliares aumentarem a eficiência de uso de N pela planta, é provável que sua utilização seja uma opção para mitigação deste gás.

Uma possível forma de mitigar ou compensar os impactos causados pela pecuária é a adoção de sistemas silvipastoris (SSP), que consistem na integração das atividades pecuárias e florestais na mesma área, como forma de intensificação sustentável do uso da terra (Oliveira et al., 2017), de modo que as interações biológicas entre os componentes do sistema sejam benéficas (Paciullo et al., 2011), como o estoque de carbono (C) pelas árvores, melhoria do bem-estar animal e o aumento da biodiversidade na área (Lima et al., 2019; Bretas et al., 2020). Outra estratégia para redução de impactos ambientais é pelo uso de bioestimulantes foliares, uma vez que possuem como finalidade o aumento da eficiência nutricional, a tolerância ao estresse abiótico e/ou as características de qualidade da cultura (Du Jardin, 2015).

Neste trabalho investigamos as seguintes hipóteses i) as maiores emissões de N_2O e CH_4 do solo seriam observadas durante os primeiros ciclos de pastejo devido as condições climáticas desta época do ano, assim como no SSP quando comparado ao pleno sol (SPS) ii) o uso de bioestimulante foliar reduziria as emissões destes gases. Dessa forma, o objetivo do estudo foi avaliar as emissões N_2O e CH_4 do solo em diferentes sistemas com a aplicação de bioestimulante foliar no capim-massai.

O uso do bioestimulante foliar reduzirá as emissões de CH_4 e N_2O em razão do maior aproveitamento dos nutrientes pela forrageira. As maiores emissões de N_2O e CH_4 do solo seriam observadas durante os primeiros ciclos de pastejo devido as condições climáticas desta época do ano, assim como no SSP quando comparado ao pleno sol.

2. Material e métodos

2.1 Descrição do local e solo

O experimento foi conduzido no setor de Forragicultura e Pastagem na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, campus de Jaboticabal, São Paulo, Brasil (21°14'S e 48°17'O, 598 m acima do nível do mar). O clima segundo classificação de Köppen é do tipo Aw, descrito como tropical com estação seca definida entre os meses de abril a setembro e concentração de chuvas nos meses de verão (outubro a março). A precipitação média anual é de 1369 mm, e a

temperatura média do ar é 22,7 °C. O solo é um Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico (Embrapa 2006). Em outubro de 2018 foi realizada a análise de solo e, de acordo com o resultado não houve necessidade de adubação de manutenção (LORENZI et al., 1997) (Tabela 1).

Tabela 1. Propriedades do solo na profundidade de 0-20 cm no sistema silvipastoril (SSP) e a pleno sol (SPS), Jaboticabal, SP.

Propriedades	SSP	SPS
pH (CaCl ₂)	5,2	5,8
Matéria Orgânica (g dm ⁻³)	23	18
P (g dm ⁻³)	8	17
S (g dm ⁻³)	8	11
Ca (mmol _c dm ⁻³)	28	32
Mg (mmol _c dm ⁻³)	12	14
K (mmol _c dm ⁻³)	3,7	5,8
Al (mmol _c dm ⁻³)	0	0
H + Al (mmo _{lc} dm ⁻³)	26	18
Soma de Base (mmol _c dm ⁻³)	44,2	52,6
Capacidade de Troca Catiônica	69,7	71,0
Saturação por bases (V%)	63	74

2.2. Implantação dos sistemas

A área experimental foi implantada em 2012, em fevereiro foi realizada a semeadura da gramínea, *Megathyrsus maximus* × *Megathyrsus infestus* cv. Massai, em sistema de consórcio com milho. Em abril, o milho foi colhido e após a colheita utilizou-se irrigação da área uma vez por semana de abril a setembro, para a formação do pasto. Em setembro realizou-se o plantio das mudas de eucalipto, em fileiras únicas, em sentido Leste-Oeste e com espaçamentos de 9 × 1,5 m e 18 × 1,5 m. As mudas de *Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus urophylla* (*Eucalyptus urograndis*) com altura média de 1,2 m foram plantadas em covas de aproximadamente 40 cm de profundidade. Concluindo a formação dos sistemas, SSP e SPS. Em outubro de

2017 foi realizado desbaste dos eucaliptos, a fim de se obter apenas o espaçamento de $18 \times 1,5$ m, para realização deste estudo.

2.3 Design experimental e tratamentos

A área total de 2160 m² foi dividida em 12 piquetes experimentais de 180 m², sendo 6 piquetes para o SPS e 6 piquetes para o SSP. O experimento foi realizado de dezembro de 2018 a maio de 2020, disposto em delineamento inteiramente casualizado com cinco repetições, em esquema fatorial 2×2 , sendo dois tipos de sistemas (silvipastoril e pleno sol) e dois tipos de aplicação do bioestimulante foliar (com e sem).

2.4. Método de pastejo e aplicação do bioestimulante

O pastejo foi realizado por novilhas da raça Holandesa não lactantes com peso médio de 350kg. O método de pastejo utilizado foi *mob-stoking* (Allen et al., 2011), de forma que os animais iniciavam o pastejo quando o capim-massai atingia altura de entrada de 55 cm e eram retirados dos piquetes quando a altura de resíduo atingia 25 cm. A taxa de lotação foi variável de acordo com a disponibilidade de forragem. Foi realizada adubação nitrogenada (ureia) com 150 kg N ha⁻¹ ano⁻¹, dividida em 4 aplicações, cada aplicação foi realizada após a saída dos animais do piquete.

Em dezembro de 2018 foi realizado um pastejo de homogeneização. O primeiro período experimental ocorreu de janeiro a maio de 2019 (4 ciclos de pastejo). O segundo período experimental ocorreu de junho a dezembro de 2019 (período de pousio, onde a área experimental não foi pastejada). Em dezembro de 2019 houve outro pastejo de homogeneização. O terceiro período experimental ocorreu de janeiro a maio de 2020 (4 ciclos de pastejo). As datas de cada ciclo e período experimental foram descritas na Tabela 2.

Tabela 2: Datas de ciclos de pastejo e período de ocupação durante o período experimental.

Ciclos de pastejo	2019		2020	
	Ocupação	Coletas	Ocupação	Coletas
Homogeneização	05/12/2018 -14/12/2018	-	04/12/2019 - 13/012/2019	-

1° ciclo	04/01 - 14/01	21/01 - 11/02	08/01 - 20/01	27/01 - 17/02
2° ciclo	05/02 - 12/02	19/02 - 12/03	18/02 - 26/02	04/03 - 18/03
3° ciclo	07/03 - 16/03	25/03 - 15/04	24/03 - 28/03	07/04 - 21/04
4° ciclo	23/04 - 03/05	10/05 - 31/05	22/04 - 27/04	04/05 - 18/05

<i>Pousio</i>	-	17/06-04/12	-	-
---------------	---	-------------	---	---

O bioestimulante utilizado foi Biotrac® que é composto por, 65 g. L⁻¹ Nitrogênio (5,6% m/m) 27 g. L⁻¹ Potássio (1,1% m/m); 13 g. L⁻¹ de Boro (1,1% m/m); 13 g. L⁻¹ Zinco (1,1% m/m); Carbono Orgânico Total (COT) 117 g. L⁻¹ (10% m/m), é um produto de absorção foliar, dessa forma foi aplicado no capim-massai de 5-7 dias após o pastejo, preconizando o crescimento das folhas para melhor absorção do produto (Figura 1). No preparo da calda de pulverização foi utilizado um volume de 200 litros por hectare de água e de 1 litro por hectare de Biotrac®.



Figura 1. Aplicação do bioestimulante.

2.5 Quantificação das emissões de CH₄ e N₂O do solo

Foi utilizada a técnica da câmara estática fechada (Mosier, 1989) para coletar amostras de ar (Figura 2). A câmara foi constituída de uma base de metal medindo 0,6 × 0,4 × 0,13 m que foi inserida a 7 cm de profundidade. A parte superior era plástica com as mesmas dimensões da câmara e 15 cm de altura, revestida com isolante térmico (Figura 2). As amostragens iniciaram no dia 0 (sem aplicação do

bioestimulante) e logo em seguida foi realizada a aplicação do bioestimulante e a amostragem estendida por sete dias consecutivos após aplicação e semanalmente até o próximo ciclo de coletas. As coletas foram realizadas sempre após a saída dos animais dos piquetes. Ocasionalmente, as últimas coletas poderiam coincidir com a presença dos animais, pois o pasto havia atingido altura de entrada. Durante o período de pousio não houve aplicação de bioestimulante, pois não havia área foliar suficiente para sua absorção. Durante esse período, as coletas dos gases foram realizadas a cada 15 dias.

As amostragens foram realizadas entre 9h00 e 10h00 como preconizado por Alves et al. (2012). As câmaras permaneceram fechadas por um período de 30 min, sendo as amostras de ar coletadas nos tempos 0 e 30 min. As amostras foram coletadas com uma seringa de polipropileno de 60 mL. As temperaturas do solo, do ar no interior e fora da câmara foram medidas utilizando termômetros digitais. As amostras de ar foram transferidas para frascos de cromatografia pré-evacuados (20 mL) e em seguida a concentração do gás foi determinada por cromatografia gasosa.



Figura 2. Câmara estática fechada.

As amostras foram analisadas em um cromatógrafo a gás (Shimadzu Green House Gas Analyzer GC-2014; Kyoto, Japan) sobre as seguintes condições para mensurar N_2O : injetor a 250°C , coluna a 80°C , usando N_2 como gás de arraste (30 ml min^{-1}), e o detector de captura elétrica a 325°C . E, CH_4 : usando H_2 como gás de arraste (30 ml min^{-1}), detector de ingestão de chama a 280°C .

As emissões dos gases ($\mu\text{g N}_2\text{O h}^{-1}$ e $\text{CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) foram calculadas em função da mudança da concentração do gás no interior da câmara no período de incubação acordo com a seguinte equação:

$$\text{Equação 1: Fluxo do gás} = \delta\text{gas}/\delta T \times M/V_m \times V/A$$

Onde, $\delta\text{gás}$ é o aumento na concentração do gás no período de incubação ($\mu\text{L L}^{-1}$); δT é o período de incubação (h); M é a massa molar do gás em N ou C (g mol^{-1}); V_m é o volume molecular corrigido pela temperatura e pressão no momento de amostragem (L mol^{-1}); V é o volume da câmara (m^3); e A é a área que a câmara cobre (m^2).

Os fluxos horários foram multiplicados por 24 obtendo as emissões diárias e então integrados através de interpolação linear obtendo-se a emissão cumulativa. Os fluxos negativos foram incluídos nos cálculos para evitar enviesamento nos resultados (van der Weerden et al., 2016). Os efeitos dos tratamentos foram avaliados considerando os fluxos diários e a emissão acumulada de cada gás.

2.6 Variáveis do solo

Amostras de solo da camada 0-10 cm foram coletadas no dia 0 antes da aplicação, nos dias 1 e 7 após aplicação e sempre que a amostragem de gás foi realizada, semanalmente durante os ciclos e quinzenalmente durante o período de pousio (Figura 3). O solo coletado em cada tratamento foi utilizado para quantificar a concentração de amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-). o conteúdo gravimétrico de água (por secagem do solo a 105°C), e a porcentagem de espaço poroso saturado por água (%EPSA).

A densidade do solo na camada 0-10 foi medida usando um cilindro de 50 mm de diâmetro e 50 mm de altura, as amostras foram secas em estufa a 105°C por 48h e dividindo o volume de solo seco pelo volume do cilindro obteve a densidade

do solo (g cm^{-3}). A porosidade do solo foi calculada dividindo a densidade do solo pela densidade de partículas estimada em $2,65 \text{ g cm}^{-3}$.



Figura 3. Coleta de solo.

Para análise de N-mineral a extração com 2M KCl foi realizada em amostra de solo fresco. O NH_4^+ foi determinado usando reação de Berthelot com espectrometria a 650 nm (Kempers & Zweers, 1986). A quantificação de NO_3^- foi realizada por espectrometria de absorção ultravioleta a 220 nm (Miyazawa et al., 1985). O limite mínimo de detecção para NH_4^+ e NO_3^- foi de 0,1 mg N kg solo seco. A correção do teor de água foi feita após secagem em estufa a 105 °C.

2.7 Análise estatística

Os dados foram analisados utilizando o procedimento MIXED do pacote estatístico SAS (SAS Inst. Inc., Cary, NC, EUA). Os dados integrados de emissões acumulativas de N_2O e CH_4 em cada ciclo foram somados a uma constante ($x + a$) antes da análise, devido à presença de valores negativos. A uniformidade de distribuição foi verificada e, se necessário, a transformação Box-Cox foi utilizada para normalizar a distribuição. No entanto, as médias apresentadas foram obtidas dos dados não transformados. Os dados durante os períodos de pastejo foram

analisados utilizando os sistemas de pastejo, bioestimulante e suas interações como efeito fixo, e as repetições dentro de sistema×bloco e ano como efeito aleatório. Enquanto para os dados no período de pousio foram analisados utilizando os sistemas de pastejo, bioestimulante e suas interações como efeito fixo, e as repetições dentro de sistema×bloco como efeito aleatório. Os efeitos dos tratamentos e suas interações foram avaliados usando o teste F em análise de variância (ANOVA). Comparações múltiplas das médias dos tratamentos, se significativas, foram testadas usando o teste LSD a 10% de probabilidade. A análise de correlação de Pearson foi realizada para testar as relações entre os fluxos de GEE e as variáveis explicativas temperatura, NH_4^+ , NO_3^- , %EPSA, usando dados de cada evento de amostragem durante todo período experimental.

3 Resultados

3.1. Temperatura e precipitação

A precipitação e a temperatura foram uniformes durante os dois anos experimentais. A precipitação acumulada foi de 1.130 mm e 1.156 mm durante o ano de 2019 e 2020, respectivamente (Departamento de Ciências Exatas - UNESP-FCAV). Durante os ciclos de pastejo, a precipitação acumulada foi de 543 mm em 2019 e 341 mm em 2020, os quais representaram 48% e 29% da precipitação anual, respectivamente. A maior quantidade de chuva acumulada ocorreu no 2º ciclo de 2019 (183,1 mm) e no 1º ciclo de 2020 (166 mm) (Figura 4A e C). Enquanto, no período em que a área permaneceu em pousio, ou seja, período em que não ocorreu o pastejo animal entre os dois anos experimentais, a quantidade acumulada de chuva foi de 313 mm, o que representa 27% da precipitação anual (Figura 4B).

No geral, altas temperaturas ocorreram no SPS em comparação ao SSP. A média da temperatura do ar no SPS e SSP foram de 25,0 e 23,9 °C nos ciclos de pastejo em 2019, 23,7 e 22,4 °C nos ciclos de pastejo de 2020, e 24,5 e 23,3 °C durante o período em que a área permaneceu em pousio, respectivamente (Figura 4). A temperatura do solo não variou entre os sistemas durante os ciclos de pastejo de 2019 e período de pousio, apenas no ciclo de pastejo de 2020 em que a temperatura no SSP foi em média 1 °C mais baixa. As temperaturas do solo e do ar mais altas foram observadas no 1º ciclo de pastejo dos anos de 2019 e 2020,

enquanto mais baixas foram observadas no 4º ciclo de pastejo em ambos os anos (Figura 4A e C).

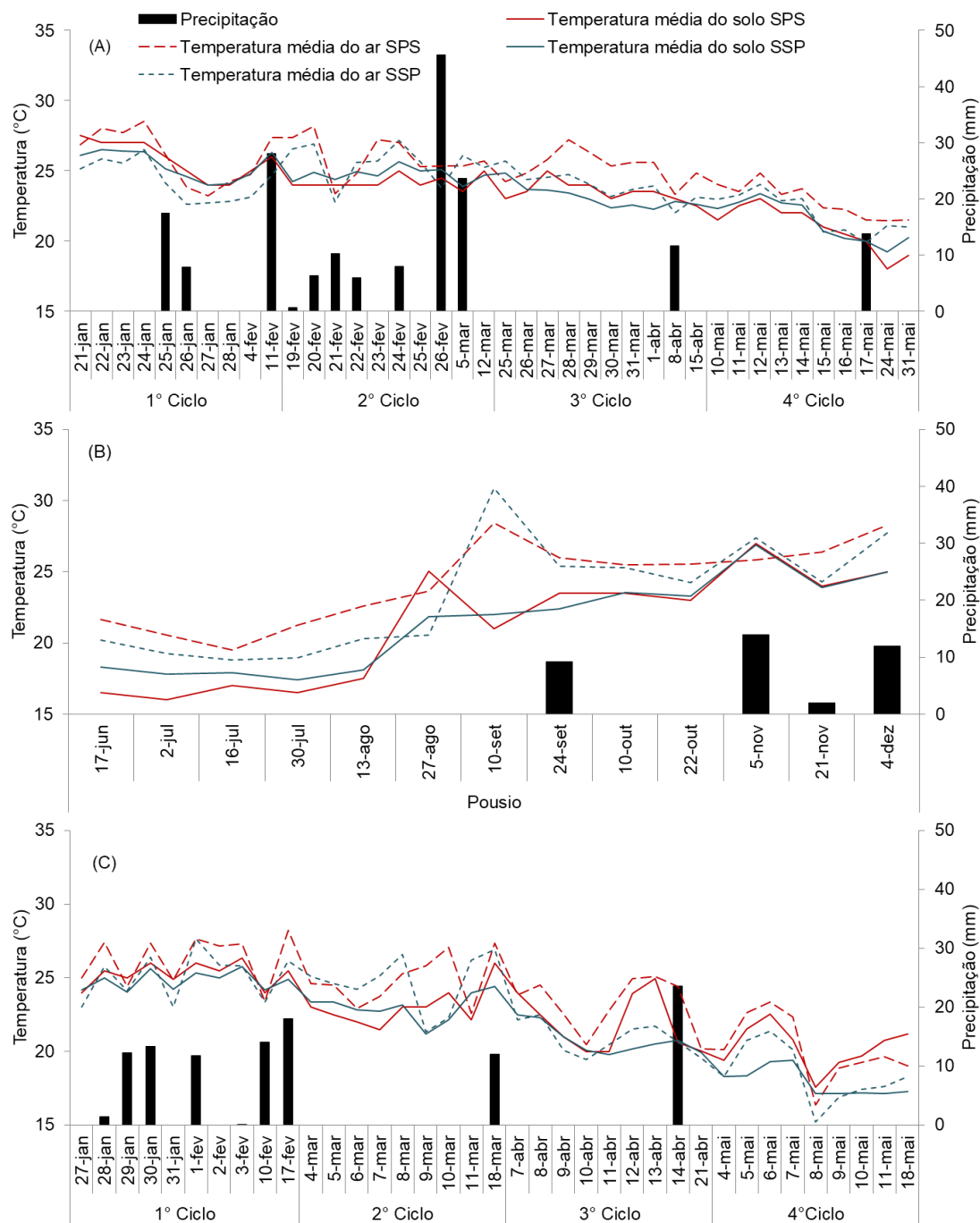


Figura 4. Precipitação, temperatura média do ar e do solo no sistema a pleno sol (SPS) e sistema silvipastoril (SSP) com ou sem a aplicação de bioestimulante foliar durante os ciclos de pastejo de 2019 (A), período de pousio de 2019 (B) e os ciclos de pastejo de 2020 (C).

3.2. Fluxo de CH₄

Durante os ciclos de pastejo as maiores emissões e consumos de CH₄ ocorreram no 4º ciclo em ambos os anos experimentais. Em 2019, o maior fluxo médio foi $149 \pm 64 \mu\text{g CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ no SSP com uso do bioestimulante foliar (dia 11/05). Por outro lado, o maior fluxo de CH₄ em 2020, foi observado no SSP sem o uso do bioestimulante foliar, com média de $146 \pm 26 \mu\text{g CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ no dia 18/05 (Figura 5A e C). No período em que o pasto de capim-massai permaneceu em pousio, o maior fluxo foi observado no SSP sem aplicação do bioestimulante, com média de $94 \pm 57 \mu\text{g CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ (dia 21/11/2019) (Figura 5B). O maior consumo de CH₄ em 2019 ocorreu no SSP sem aplicação do bioestimulante, com influxo médio de $-149 \pm 64 \mu\text{g CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ (dia 17/05). Em 2020, o maior consumo de CH₄ foi mensurado no SPS com aplicação do bioestimulante, com influxo médio de $-122 \pm 73 \mu\text{g CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ (dia 04/05) (Figura 5A e C). O maior consumo de CH₄ no período de pousio ocorreu no SSP sem aplicação do bioestimulante no dia 10/10/2019, com influxo médio de $-65 \pm 38 \mu\text{g CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ (Figura 5B).

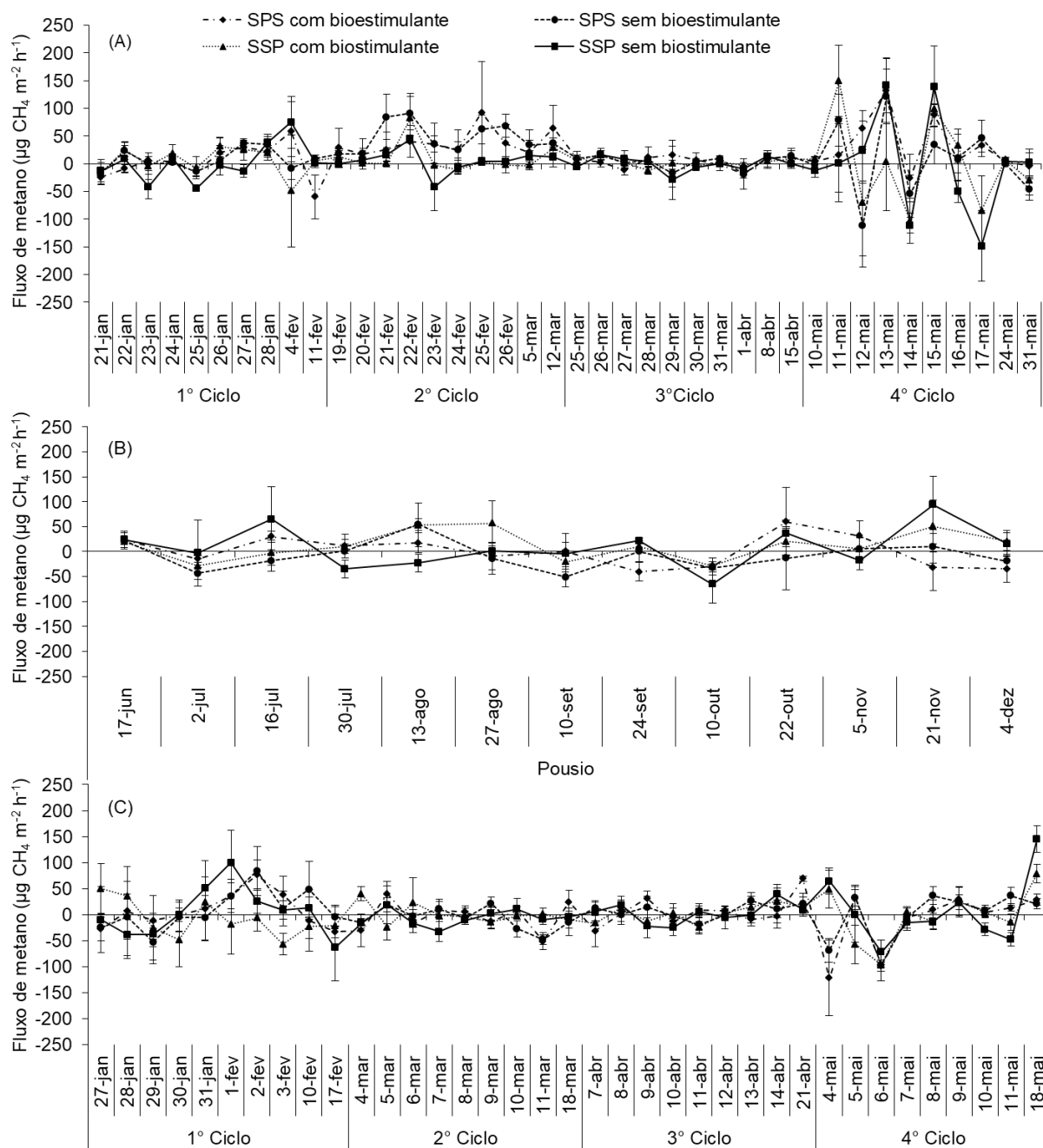


Figura 5. Fluxos diários de metano (CH_4) no sistema a pleno sol (SPS) e sistema silvipastoril (SSP) com ou sem a aplicação de bioestimulante foliar no capim-massai durante quatro ciclos de pastejo em 2019 (A), no período de pousio de 2019 (B) e quatro ciclos de pastejo em 2020 (C).

3.3. Fluxo de N_2O

Os maiores fluxos de N_2O foram observados no 1º ciclo de pastejo nos dois anos experimentais (2019 e 2020). No primeiro ano, o SPS com aplicação do bioestimulante foliar apresentou o maior fluxo médio de $80 \pm 70 \mu g N_2O m^{-2} h^{-1}$ (dia 26/01) (Figura 6A). Enquanto no segundo ano, o maior fluxo ocorreu no SSP com aplicação do bioestimulante, com fluxo médio de $62 \pm 21 N_2O \mu g m^{-2} h^{-1}$ (dia 17/02) (Figura 6C). Durante o período de pousio, o SPS sem aplicação do bioestimulante apresentou maior fluxo de N_2O , com fluxo médio de $34 \pm 15 N_2O \mu g m^{-2} h^{-1}$ no dia 24/09/2019 (Figura 6B). O maior consumo de N_2O em 2019 ocorreu no SSP sem aplicação do bioestimulante no 1º ciclo, com influxo de $-65 \pm 46 N_2O \mu g m^{-2} h^{-1}$ (dia 04/02) (Figura 6A). Em 2020, o maior consumo ocorreu no 3º ciclo no SPS com aplicação do bioestimulante, sendo o influxo de $-24 \pm 17 N_2O \mu g m^{-2} h^{-1}$ (dia 13/04) (Figura 6C). No período de pousio, o maior consumo de N_2O foi observado no SPS com aplicação do bioestimulante (16/07/2019), com influxo médio de $-24 \pm 14 N_2O \mu g m^{-2} h^{-1}$ (Figura 6B).

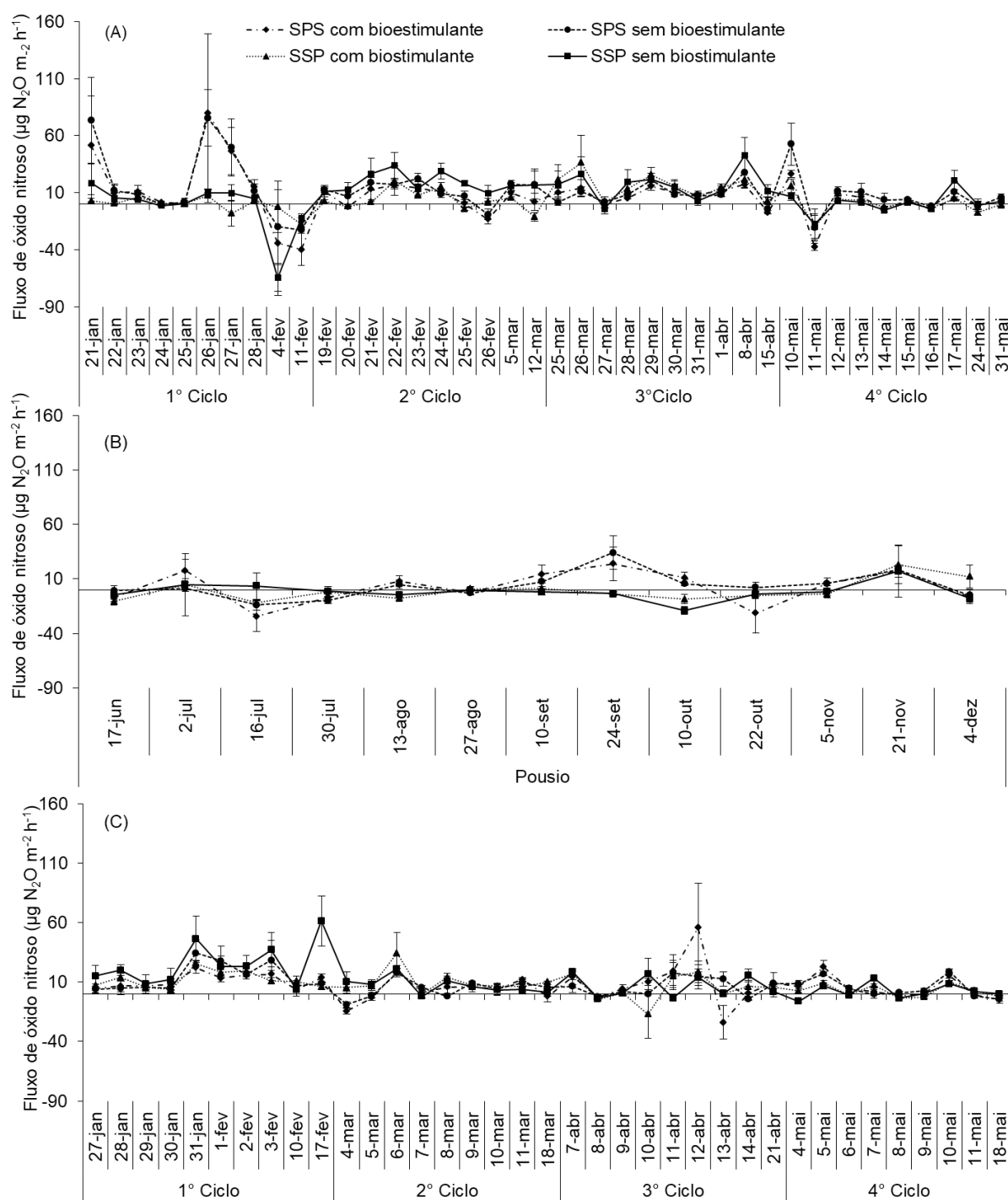


Figura 6. Fluxos diários de óxido nitroso (N_2O) no sistema a pleno sol (SPS) e sistema silvipastoril (SSP) com ou sem a aplicação de bioestimulante foliar no capim-massai durante quatro ciclos de pastejo em 2019 (A), no período de pousio em 2019 (B) e quatro ciclos de pastejo em 2020 (C).

3.4. Emissões cumulativas de gases de efeito estufa

O uso dos diferentes sistemas e a aplicação do bioestimulante foliar não interferiu nas emissões cumulativas de CH₄ em nenhum ciclo de pastejo, sendo o mesmo efeito observado no período de pousio (Tabela 2). A aplicação do bioestimulante foliar reduziu a emissão cumulativa de N₂O no 2º ciclo de pastejo ($p=0,01$), com emissões médias de 88 µg N₂O m⁻² e 195 µg N₂O m⁻² para os tratamentos com e sem aplicação do bioestimulante foliar, respectivamente. Houve efeito dos sistemas no 3º ciclo de pastejo ($p=0,07$) no qual SSP resultou em maior emissão cumulativa de N₂O (216 µg N₂O m⁻²) em comparação ao SPS (134 µg N₂O m⁻²).

Tabela 2. Emissões cumulativas de metano (µg CH₄ m⁻²) e óxido nitroso (µg N₂O m⁻²) em pastagens de capim-massai manejados em sistema a pleno sol (SPS) ou em sistema silvipastoril (SSP) com ou sem aplicação de bioestimulante foliar (B).

Variável	Período	Sistemas (S)		EPM	Bioestimulante (B)		EPM	P-valor		
		SPS	SSP		Com	Sem		S	B	S × B
CH ₄	Ciclo 1	303	226	145	315	214	145	0,62	0,62	0,14
	Ciclo 2	363	66	138	184	245	138	0,44	0,79	0,59
	Ciclo 3	156	122	57	131	147	57	0,68	0,84	0,88
	Ciclo 4	166	-36	95	67	63	95	0,14	0,98	0,63
	<i>Pousio</i>	-394	1571	1293	1513	-336	1293	0,31	0,33	0,75
N ₂ O	Ciclo 1	80	190	83	58	212	83	0,35	0,20	0,44
	Ciclo 2	130	153	26	88	195	26	0,62	0,01	0,75
	Ciclo 3	134	216	39	154	195	39	0,07	0,60	0,53
	Ciclo 4	41	17	16	21	37	16	0,30	0,45	0,15
	<i>Pousio</i>	699	249	319	266	682	319	0,31	0,25	0,77

EPM- Erro padrão da média

3.5. Variáveis explicativas

Os níveis de NH_4^+ no solo variaram entre tratamento e ciclos de pastejo em 2019, a maior concentração de NH_4^+ ($67,0 \text{ mg N kg}^{-1}$ solo seco) foi observada no SSP sem a aplicação do bioestimulante durante o 1º ciclo de pastejo (dia 11/02). Entretanto, no 4º ciclo houve maior variação deste composto (Figura 7A). Em 2020, os teores de NH_4^+ foram semelhantes entre os tratamentos, sendo observadas as maiores concentrações durante o 1º e 2º ciclos de pastejo (Figura 7C). No período de pousio em 2019, a concentração de NH_4^+ no solo foi semelhante aos ciclos de pastejo do mesmo ano, sendo observada maior variação no tratamento SSP com aplicação do bioestimulante, os quais variaram de 2,9 a $43,5 \text{ mg N kg}^{-1}$ solo seco (Figura 7C).

Os níveis de NO_3^- foram semelhantes entre os tratamentos nos ciclos de pastejo e período de pousio em 2019 (Figura 8A e B). Durante os ciclos de pastejo, as maiores concentrações foram observadas no 2º ($16,3 \text{ mg N kg}^{-1}$ solo seco) e no 3º ciclo de pastejo ($20,8 \text{ mg N kg}^{-1}$ solo seco) (Figura 8A). Porém, durante os ciclos de pastejo em 2020, houve grande variação nos níveis de NO_3^- para todos os tratamentos, principalmente a partir do 2º ciclo de pastejo, nos quais as concentrações variaram de 2,41 a $20,30 \text{ mg N kg}^{-1}$ solo seco (Figura 8C).

A %EPSA variou em resposta à precipitação (Figura 1 e 9). Ao longo de todo o período experimental não houve saturação total dos poros do solo, sendo a maior %EPSA observada no SPS. A %EPSA máxima atingida ocorreu no 3º ciclo de pastejo de 2019 com 52,38%, enquanto o mínimo observado foi de 19,32% durante o período de pousio (Figura 9A e B). Durante os ciclos de pastejo em 2019 e 2020 houve maior %EPSA em relação ao período de pousio de 2019, em resposta a menor precipitação nesse período.

A concentração de NH_4^+ no solo apresentou correlação negativa significativa ($p=0,01$; $r= -0,25$) e a temperatura do solo apresentou correlação positiva ($p=0,05$; $r=0,20$) com o fluxo de N_2O no SPS no 3º ciclo de pastejo (Figuras 4 e 7). Enquanto, no SSP, a variação nos fluxos de N_2O ocorreu em função da temperatura do solo ($p=0,01$; $r= 0,26$) (Figura 4). Em relação a aplicação do bioestimulante foliar no capim-massai em ambos os sistemas, não houve correlação entre as variáveis analisadas com os fluxos de N_2O no 2º ciclo de pastejo.

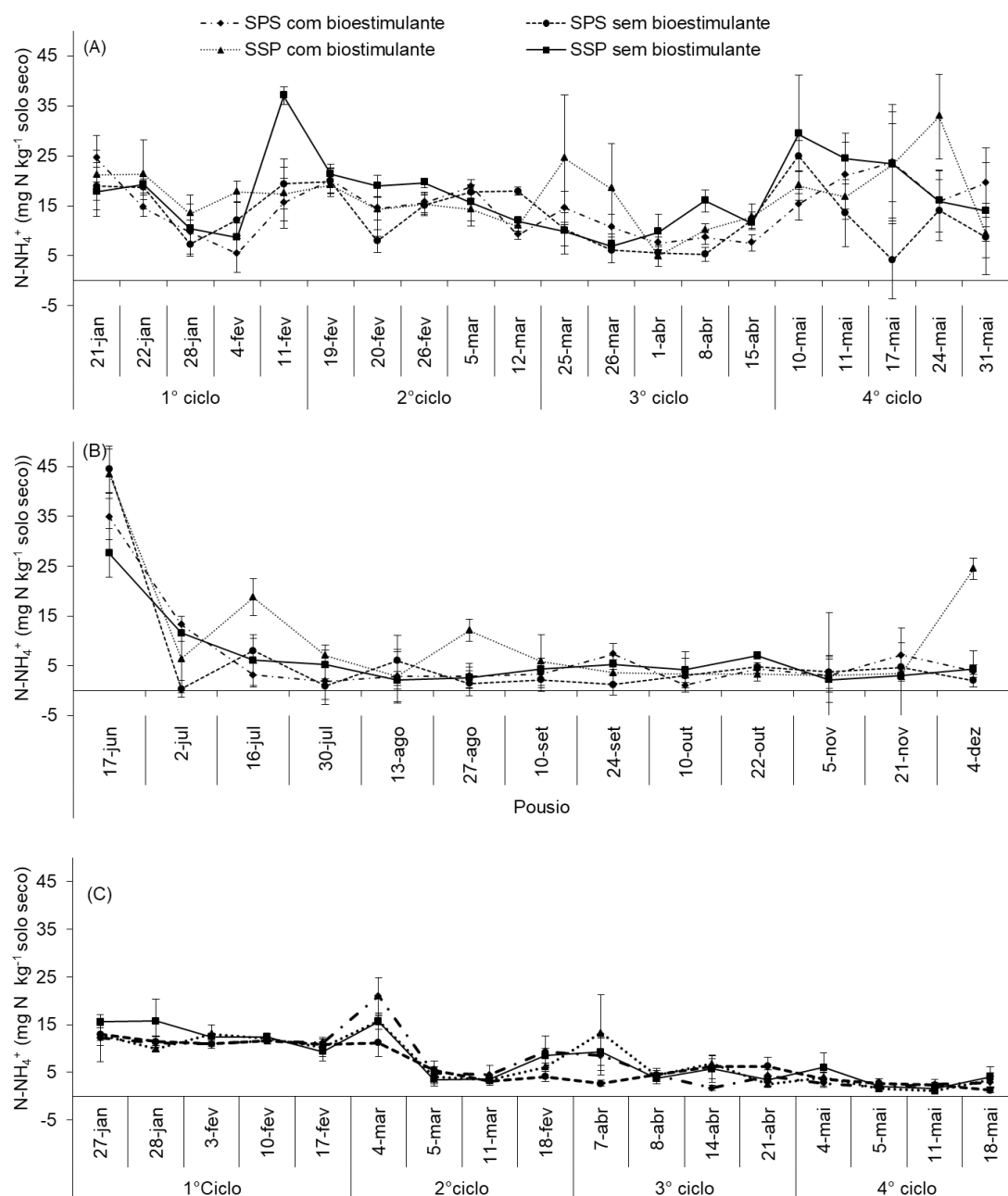


Figura 7. Conteúdo de amônio no solo (NH_4^+ mg N kg^{-1} solo seco) no sistema a pleno sol (SPS) e sistema silvipastoril (SSP) com ou sem a aplicação de bioestimulante foliar no capim-massai durante quatro ciclos de pastejo em 2019 (A), no período de pousio em 2019 (B) e quatro ciclos de pastejo em 2020 (C).

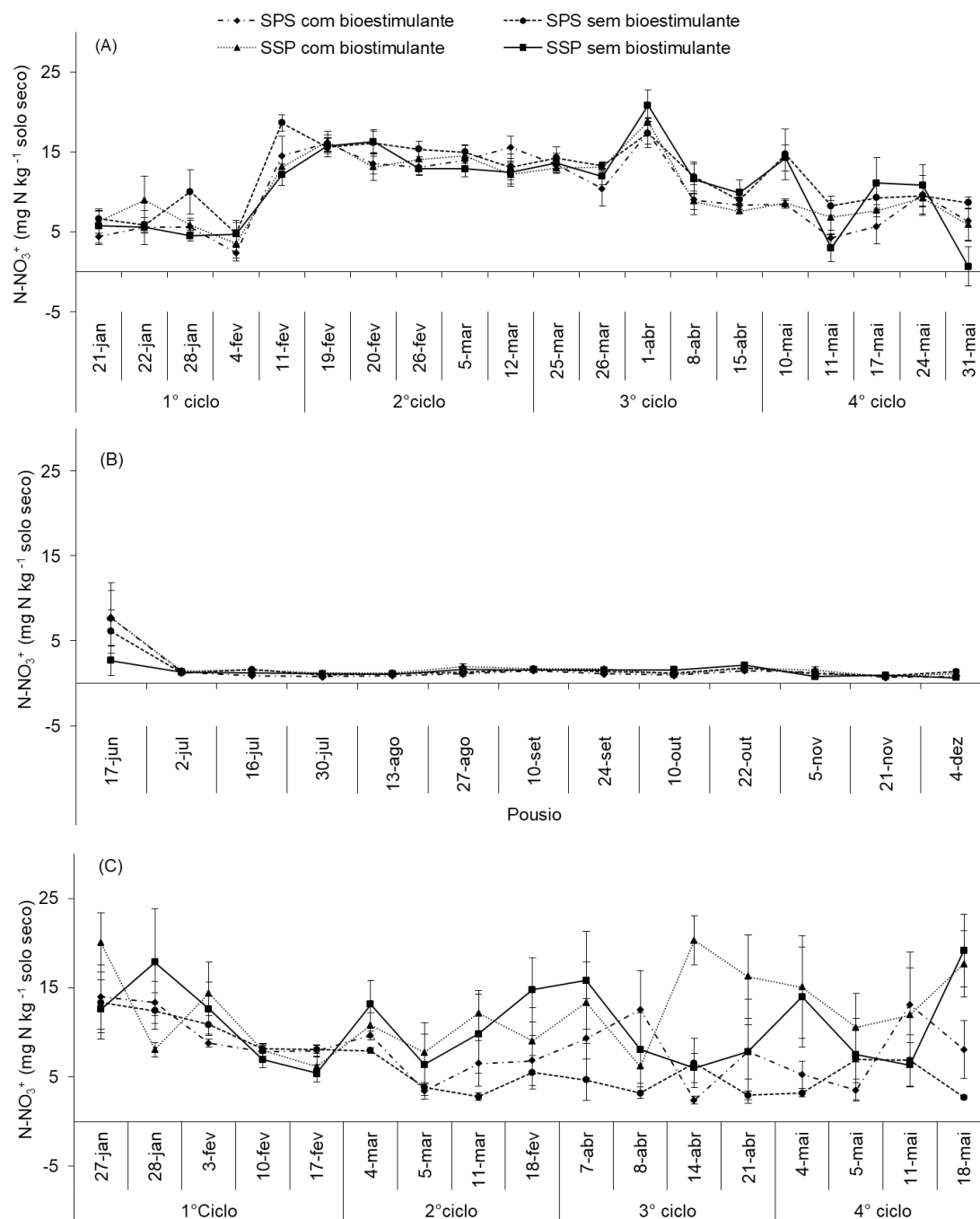


Figura 8. Conteúdo de nitrato no solo (NO_3^- mg N kg^{-1} solo seco) no sistema a pleno sol (SPS) e sistema silvipastoril (SSP) com ou sem a aplicação de bioestimulante foliar no capim-massai durante quatro ciclos de pastejo em 2019 (A), no período de pousio em 2019 (B) e quatro ciclos de pastejo em 2020 (C).

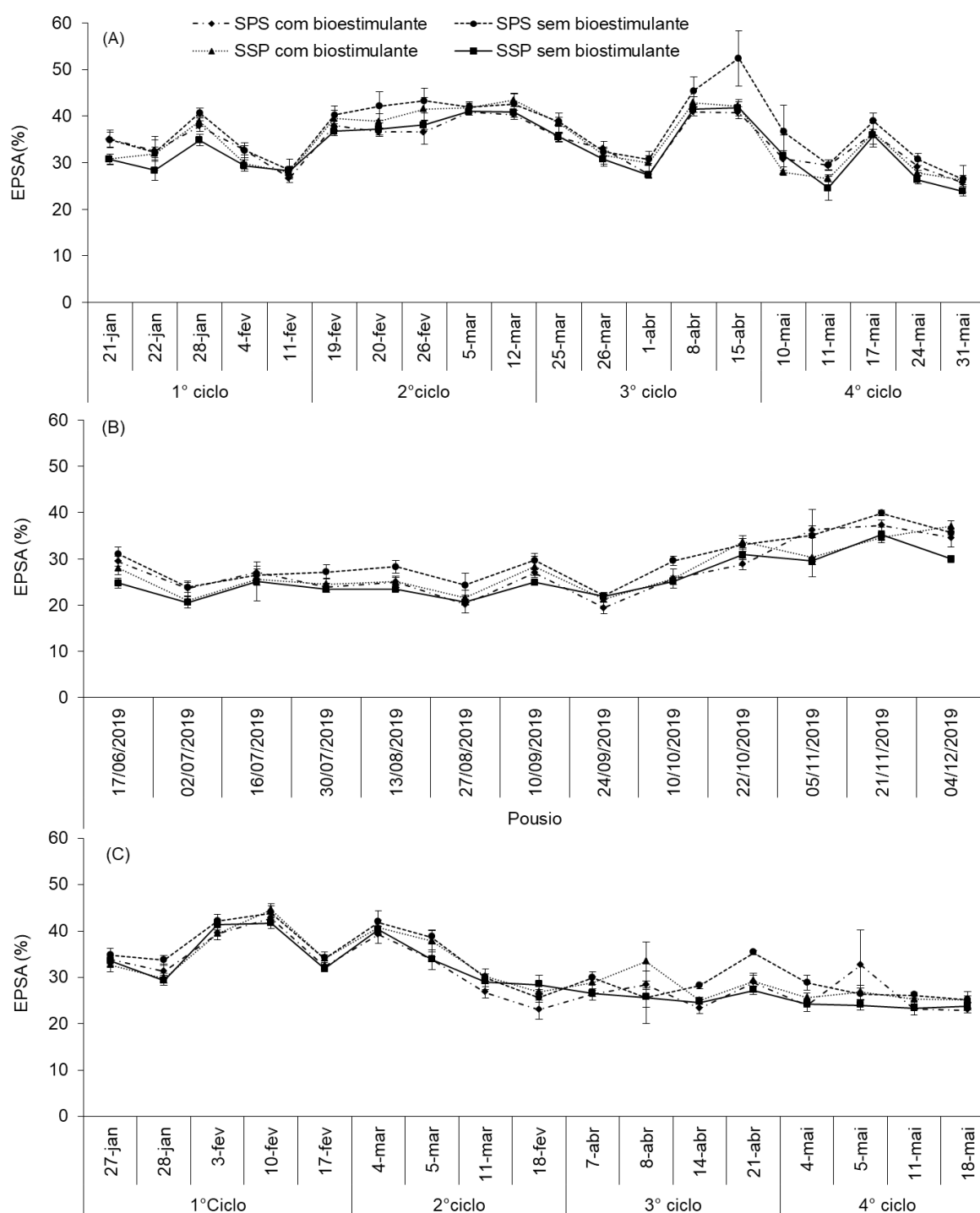


Figura 9. Espaço poroso saturado por água (EPSA, %) no sistema a pleno sol (SPS) e sistema silvipastoril (SSP) com ou sem a aplicação de bioestimulante foliar no capim-massai durante quatro ciclos de pastejo em 2019 (A), no período de pousio em 2019 (B) e quatro ciclos de pastejo em 2020 (C).

4. Discussão

4.1. *Variações temporais no fluxos de CH₄*

O CH₄ é formado no solo em condições anaeróbicas a partir da decomposição da matéria orgânica (Smith et al., 2003), de forma que as atividades microbianas ligadas à sua produção também é influenciada pela temperatura (Zhang et al., 2019). Nesse contexto, esperava-se que a maior emissão fosse observada durante os primeiros ciclos de pastejo, onde ocorreram maior precipitação e alta temperatura. No entanto, no presente estudo, independente do tratamento, as maiores emissões de CH₄ ocorreram no 4º ciclo, o qual apresentou baixa temperatura e umidade do solo em relação aos ciclos anteriores. Dessa forma, outros fatores além de umidade e temperatura do solo podem ter interferido na emissão do CH₄ no solo, como o tipo de solo, a complexa comunidade de microrganismos e suas interações (Rath et al., 2002), o pH, propriedades físico-químicas, a disponibilidade de substratos (Le Mer & Roger, 2001). Contudo, essas variáveis não foram avaliadas no presente estudo, o que sugere que novos estudos devem ser realizados para verificar outros fatores que conduzem a emissão de CH₄ em diferentes sistemas de manejo de gramíneas tropicais.

Por outro lado, os solos atuam tanto como fontes quanto como sumidouros de CH₄, que em condições de aerobiose são caracterizados como sumidouros (Dowhower et al., 2020). No presente estudo, assim como as maiores emissões, também foi observada maior oxidação de CH₄ durante o 4º ciclo de pastejo. A oxidação de CH₄ ocorre principalmente nas camadas mais próximas a superfície, em virtude da maior quantidade de oxigênio disponível, esta oxidação acontece por meio da ação de bactérias metanotróficas que utilizam o CH₄ como fonte de carbono e energia (Hanson & Hanson, 1996; McDonald et al., 2008). Durante o 4º ciclo de pastejo foi observado a menor %EPSA (28%) e correlação negativa com a precipitação ($p=0,02$; $r=-0,16$), o que indica condições favoráveis para a oxidação de CH₄.

De acordo com Le Mer & Roger (2001) o processo de metanotrofia é menos sensível à temperatura do que o de metanogênese. Dessa forma, em solos aeróbicos a temperatura tem pouca influência sobre a oxidação do CH₄, a não ser quando o solo esteja seco o bastante para limitar a atividade microbiana (Smith et

al., 2003), visto que umidade abaixo de 10% (m/m) é considerada prejudicial para os processos de oxidação (Zeiss, 2006). De fato, as comunidades de microrganismos metanogênicos e metanotróficos são onipresentes na maioria dos solos, sendo que suas expressões vão variar principalmente em função das condições de anaerobiose e aerobiose (Le Mer & Roger 2001). Realmente não foi observada correlação significativa ($p=0,47$; $r= -0,05$) entre a temperatura do solo e a emissão de CH_4 durante o 4º ciclo de pastejo.

Cardoso et al. (2017) observaram rápida variação entre produção e oxidação de CH_4 durante o verão. Os autores relacionaram este efeito à alta taxa de evapotranspiração devido aos altos teores de umidade e temperatura característicos da estação. No presente estudo, comportamento semelhante foi observado no 4º ciclo de pastejo, o qual ocorreu durante o período de transição entre águas e seca. Neste período há redução na quantidade e frequência de chuvas e queda na temperatura. Além disso, uma possível explicação para essa variação pode ter ocorrido devido a presença de fezes e acúmulo de liteira na área experimental decorrente dos ciclos anteriores, haja vista que as câmaras não possuíam proteção contra a entrada dos animais em pastejo, uma vez que o presente estudo avaliou o SSP como um todo. A deposição de fezes em pastagens aumenta as emissões de CH_4 , devido ao aumento de carbono disponível para a formação do gás (Cardoso et al., 2019a). Por outro lado, estudos mostram que a adição de N pode estimular as bactérias metanotróficas e a oxidação de CH_4 (Bodelier & Laanbroek, 2004; Cardoso et al., 2019b; Raposo et al., 2020). Dessa forma, o N oriundo da decomposição das fezes e da liteira podem ter contribuído para a oxidação do CH_4 .

4.2 Variações temporais nos fluxos de N_2O

As maiores oscilações nos fluxos de N_2O observadas durante o 1º ciclo de pastejo podem estar relacionadas com a maior umidade do solo, decorrente da maior frequência de precipitação durante esse período. Variações nas chuvas e umidade do solo são fatores-chaves que controlam a emissão de N_2O (Cardoso et al., 2017; Signor & Cerri, 2013; Raposo et al., 2020). Em região semelhante ao presente estudo, ao avaliar as emissões de gases de efeito estufa em pastagens tropicais em diferentes estações do ano, Cardoso et al. (2017) verificou maior

emissão de N_2O durante o verão, período em que a precipitação foi mais frequente, o que consequentemente causou efeito sobre EPSA (60-70%). A maior parte do N_2O produzido nos solos é oriunda dos processos biológicos de nitrificação e desnitrificação, os quais possuem relação com %EPSA (Signor & Cerri, 2013), sendo a nitrificação o principal processo para a formação de N_2O com o EPSA em até 60% e a partir desse percentual a desnitrificação se torna a principal fonte deste gás (Ruser et al., 2006; Cardoso et al., 2020). No presente estudo, embora tenha ocorrido correlação positiva entre o fluxo de N_2O e o %EPSA, não foi verificado EPSA superior a 60%, sendo o máximo EPSA de 52%. Dessa forma, a principal via de formação de N_2O pode ter sido a nitrificação ao invés da desnitrificação. Resultados semelhantes foram observados por Corrêa et al. (2021), em que o principal processo de formação de N_2O foi a nitrificação, uma vez que os maiores de fluxos ocorreram quando a %EPSA estava entre 50-60%.

A nitrificação é a oxidação aeróbica do NH_4^+ a NO_3^- , sendo o N_2O proveniente da oxidação intermediária do NH_4^+ a nitrito (NO_2^-), enquanto a desnitrificação é um processo de redução de NO_3^- a N_2 (Moreira & Siqueira 2006), quando incompleta, uma fração variável de N pode ser emitida como óxido nítrico (NO) e N_2O (Signor & Cerri, 2013). No presente estudo, foi verificada correlação positiva entre os fluxos de N_2O e NH_4^+ . O NH_4^+ disponível no solo para a formação de N_2O reforça a suposição de que a nitrificação tenha sido a principal via de formação deste gás. Da mesma forma que a falta de correlação entre a emissão de N_2O e NO_3^- sugere que a desnitrificação não foi a principal via de formação deste gás. Apesar dos fatos abordados, a formação e a emissão do N_2O do solo são resultantes dos processos microbianos com interações complexas somadas a outros fatores como, disponibilidade de N e matéria orgânica, e características do solo, como temperatura, textura, estrutura e pH (Bøckman & Olf, 1998).

4.3 Efeito dos tratamentos sobre as emissões cumulativas de CH_4 e N_2O

Não houve efeito dos tratamentos (tipos de sistema e aplicação de bioestimulante) sobre a emissão de CH_4 ($p > 0,05$), o que nos leva a crer que múltiplas variáveis estavam atuando na produção deste gás. Variáveis climáticas e/ou do solo determinaram a produção de CH_4 , entretanto, ainda é incerto o quanto

estas variáveis e as combinações entre elas podem contribuir para as emissões de CH_4 (Cardoso et al., 2019).

O uso de bioestimulante foliar proporcionou reduções na emissão de N_2O durante o 2º ciclo de pastejo, isso porque sua principal função é estimular os processos naturais da planta com intuito de aumentar/favorecer a absorção de nutrientes (Du Jardin, 2015). Nesse contexto, a aplicação do bioestimulante pode ter melhorado a eficiência de absorção do N pela forrageira, deixando menos substrato disponível no solo para a formação de N_2O . Cabral (2016) ao avaliar fluxos de N_2O em solos de agricultura orgânica com diferentes tratamentos (esterco bovino, torta de mamona, bioestimulante foliar) e combinações entre eles, notou que o uso do bioestimulante proporcionou aumento na produção das hortaliças, entretanto, não alterou o fluxo do gás. Vale ressaltar que o uso de bioestimulantes é uma tecnologia recente, o que faz com que estudos nessa área ainda sejam escassos, principalmente envolvendo pastagens e emissões de GEE.

Os sistemas SSP e SPS mostraram efeito significativo sobre a emissão de N_2O durante o 3º ciclo de pastejo, sendo observada maior emissão no SSP. A presença do componente arbóreo proporcionou redução na temperatura do ar em 1,8 °C e a do solo em 1°C. Nesse cenário, a redução da temperatura faria com que a umidade do solo permanecesse mais alta em virtude da redução na evapotranspiração (Feldhake, 2009; Bosi et al., 2020), e consequentemente, o %EPSA deveria ser superior ao SPS. Entretanto, o consumo de água pelo eucalipto pode ter causado a redução de 4,15% do EPSA em relação ao SPS. Existe variação na disponibilidade hídrica do solo em SSP em relação à proximidade das árvores, de forma que quanto mais próximo maior a absorção de água pela árvore e, consequentemente, menor a disponibilidade de água no solo (Bosi et al., 2020). De fato, as câmaras e os locais de amostragem de solo foram dispostos de forma aleatória dentro do sistema, o que pode ter interferido no EPSA, assim como a espécie arbórea utilizada para compor o sistema, pois espécies de crescimento rápido, como é o caso do eucalipto, consomem mais água em relação à vegetação de baixo porte (Calder, 2007),

Outro fator que também pode explicar a maior emissão no SSP é a deposição de liteira. Apesar não ter sido quantificada no presente estudo, têm-se que há maior

deposição de material vegetal no solo em sistemas integrados quando comparado com sistemas em monocultivos (Freitas et al., 2013; Bretas et al., 2020). Dessa forma, a maior emissão de N_2O pode estar relacionada com a maior deposição e decomposição da liteira no SSP. A decomposição da liteira é influenciada por vários fatores, entre eles a relação C/N do material depositado, uma vez que quanto menor essa relação maior a taxa de decomposição (Freitas et al., 2013). Entretanto, a liteira do eucalipto apresenta alta relação C/N, variando entre 30 a 100 (Louzada et al., 1997; Andrade et al., 2001), o que favorece a lenta decomposição da matéria orgânica, todavia, a adubação nitrogenada que foi realizada após os ciclos de pastejo pode ter sido suficiente para estimular os microrganismos presentes no solo e acelerar o processo de degradação.

Zanatta (2009) relata que quanto maior a deposição de resíduos vegetais, maiores são as quantidades de C e N lábeis adicionadas ao solo, o que aumenta sensivelmente a atividade dos microrganismos, os quais consomem o O_2 disponível e cria sítios de anaerobiose onde ocorre a produção de N_2O por desnitrificação a partir do NO_3^- . De fato, foi observada maior disponibilidade de NO_3^- durante o 3º ciclo de pastejo, sendo que no SSP a quantidade de NO_3^- foi 24% maior que no SPS o que também pode explicar a maior emissão de N_2O , e que essa emissão seria proveniente dos processos de desnitrificação. Níveis de NO_3^- no solo entre 5-10 mg N kg^{-1} de solo seco limitam os processos de desnitrificação (Ryden, 1983). As concentrações de NO_3^- no presente estudo estavam dentro desse intervalo no SPS, o que reforça ainda mais a maior emissão no SSP. Estudos verificaram menor emissão de N_2O quando as concentrações de NO_3^- eram baixas (Mazzetto et al., 2014; Corrêa et al., 2021).

5. Conclusão

Pastagens tropicais funcionam como fonte e dreno nas emissões de N_2O e CH_4 . Os resultados demonstram que o sistema silvipastoril possui potencial para emitir mais N_2O em comparação ao sistema em monocultivo, enquanto a aplicação de bioestimulante foliar apresenta potencial para reduzir essas emissões. No entanto, outros fatores que controlam os fluxos dos gases de efeito estufa vão além do sistema e uso de bioestimulante foliar. Estudos futuros devem ser realizados para

verificar quais são os principais controladores na emissão de gases de efeito estufa em diferentes sistemas de pastagens tropicais e diferentes doses de bioestimulantes.

6. Referências bibliográficas

- AALVES BJR, SMITH KA, FLORES, RA, CARDOSO AS, OLIVEIRA WRD, JANTALIA CP, URQUIAGA S, BODDEY RM. (2012). Selection of the most suitable sampling time for static chambers for the estimation of daily mean N₂O flux from soils. **Soil Biology and Biochemistry**, 46:129–135. DOI: <https://DOI.org/10.1016/j.soilbio.2011.11.022>
- ANDRADE CMSD, GARCIA R, COUTO L, PEREIRA OG. (2001). Fatores limitantes ao crescimento do capim-tanzânia em um sistema agrossilvipastoril com eucalipto, na região dos cerrados de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Zootecnia** 30:1178-1185. DOI: <http://dx.DOI.org/10.1590/S1516-35982001000500007>
- BØCKMAN OC, OLFS HW. (1998). Fertilizers, agronomy and N₂O. **Nutrient cycling in Agroecosystems**, 52:165-170. DOI: <https://DOI.org/10.1023/A:1009736327495>
- BODELIER PLE, LAANBROEK HJ. (2004). Nitrogen as a regulatory of methane oxidation in soils and sediments. **FEMS Microbiology Ecology**, 47:265–277. DOI: [https://DOI.org/10.1016/S0168-6496\(03\)00304-0](https://DOI.org/10.1016/S0168-6496(03)00304-0)
- BOSI C, PEZZOPANE JRM, SENTELHAS PC. (2020). Soil water availability in a full sun pasture and in a silvopastoral system with eucalyptus. **Agroforestry Systems**, 94:429-440. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10457-019-00402-7>
- BRETAS IL, PACIULLO DS, ALVES BJ, MARTINS MR, CARDOSO AS, LIMA MA, RODRIGUES RAR, SILVA FF, CHIZZOTTI FH. (2020). Nitrous oxide, methane, and ammonia emissions from cattle excreta on *Brachiaria decumbens* growing in monoculture or silvopasture with *Acacia mangium* and *Eucalyptus grandis*. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, 295. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.106896>
- CABRAL RR. **Estudo dos fluxos de n₂o e ch₄ em solo de agricultura orgânica, com aplicação de extrato de alga como bioestimulante vegetal**. 2016. p. 152. (Dissertação de Mestrado em Geoquímica Ambiental) Universidade Federal Fluminense, Niterói. 2016.
- CALDER IR. (2007). Forests and water—ensuring forest benefits outweigh water costs. **Forest ecology and management**, 251:110-120. DOI: [10.1016/j.foreco.2007.06.015](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.06.015)

- CARDOSO AS, ALVES BJR, URQUIAGA S, BODDEY RM. (2016). Effect of volume of urine and mas of feces on N₂O and CH₄ emissions of dairy cow excreta in a tropical pasture. **Animal Production Science**, 56. DOI: <http://dx.DOI.org/10.1071/AN15392>
- CARDOSO AS, BARBERO RP, ROMANZINI EP, TEOBALDO RW, ONGARATTO F, FERNANDES MHMDR, RUGGIERI AC, REIS RA. (2020). Intensification: A key strategy to achieve great animal and environmental beef cattle production sustainability in Brachiaria grasslands. **Sustainability**, 12:6656. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12166656>
- CARDOSO AS, BRITO LF, JANUSCKIEWICZ, ER, MORGADO ES, BARBERO, R.P, KOSCHECK JFW, KOSCHECK JFW, REIS RA, RUGGIERI, AC. (2017). Impact of grazing intensity and seasons on greenhouse gas emissions in tropical grassland. **Ecosystems**, 20:845-859. DOI: [10.1007/s10021-016-0065-0](https://doi.org/10.1007/s10021-016-0065-0)
- CARDOSO AS, QUINTANA BG, JANUSCKIEWICZ ER, BRITO LF, MORGADO ES, REIS, RA, RUGGIERI, AC. (2019a). How do methane rates vary with soil moisture and compaction, N compound and rate, and dung addition in a tropical soil? **International journal of biometeorology**, 63:1533-1540. DOI: <https://DOI.org/10.1007/s00484-018-1641-0>
- CARDOSO AS, OLIVEIRA SC, JANUSCKIEWICZ ER, BRITO LF, MORGADO ES, REIS RA, RUGGIERI AC. (2019b) Seasonal effects on ammonia, nitrous oxide, and methane emissions for beef cattle excreta and urea fertilizer applied to a tropical pasture. **Soil Tillage Research**, 194:104341. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104341>
- CHIN KJ, LUKOW T, CONRAD R. (1999). Effect of temperature on structure and function of the methanogenic archaeal community in an anoxic rice field soil. **Applied and Environmental Microbiology**, 65:2341-2349. DOI: <https://DOI.org/10.1128/AEM.65.6.2341-2349.1999>
- CORRÊA DCC, CARDOSO ADS, FERREIRA MR, SINISCALCHI D, TONIELLO AD, LIMAGCD, LIMA GC, REIS RA, RUGGIERI AC. (2021).Are CH₄, CO₂ and N₂O emissions from soil are affected by the sources and doses of N in Warm-Season Pasture? **Atmosfera**, 12: 697. DOI: <https://DOI.org/10.3390/atmos12060697>
- DOWHOWER SL, TEAGUE WR, CASEY KD, DANIEL R. (2020). Soil greenhouse gas emissions as impacted by soil moisture and temperature under continuous and holistic planned grazing in native tallgrass prairie. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, 287: 106647. DOI: <https://DOI.org/10.1016/j.agee.2019.106647>

- DU JARDIN P. (2015). Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. **Scientia Horticulturae**, 196:3-14. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>
- EMBRAPA. (2006). Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Seminário Nacional de Levantamento e Conservação de Solos**. Brasília: EMBRAPA 2:306.
- FELDHAKÉ CM. (2009) Forage evapotranspiration and photosynthetically active radiation interception in proximity to deciduous trees. **Agricultural Water Management** 96:1170–1174. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.02.011>
- FREITAS ECSD, OLIVEIRA NETO SND, FONSECA DMD, SANTOS MV, LEITE HG, MACHADO VD. (2013). Deposição de serapilheira e de nutrientes no solo em sistema agrossilvipastoril com eucalipto e acácia. **Revista Árvore**, 37:409-417. DOI: <https://DOI.org/10.1590/S0100-67622013000300004>
- HANSON RS, HANSON, TE. (1996). Bactérias metanotróficas. **Microbiological reviews**. 60:439-471. DOI: <https://DOI.org/10.1128/mr.60.2.439-471.1996>
- KEMPERS AJ, ZWEERS A. (1986). Ammonium determination in soil extracts by the salicylate method. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, 17:715-723. DOI: <https://DOI.org/10.1080/00103628609367745>
- LE MER J, ROGER P. (2001). Production, oxidation, emission and consumption of methane by soils: a review. **European journal of soil biology**, 37:25-50. DOI: [https://DOI.org/10.1016/S1164-5563\(01\)01067-6](https://DOI.org/10.1016/S1164-5563(01)01067-6).
- LIMA MA, PACIULLO DS, SILVA FF, MORENZ MJ, GOMIDE CA, RODRIGUES RA, BRETAS IL, CHIZZOTTI FH. (2019). Evaluation of a long-established silvopastoral *Brachiaria decumbens* system: plant characteristics and feeding value for cattle. **Crop and Pasture Science**, 70:814-825. DOI: [10.1071 / CP19027](https://doi.org/10.1071/CP19027)
- LORENZI JO, MONTEIRO PA, MIRANDA FILHO HS, RAIJ, B. van. Raízes e tubérculos. In: RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1997. 221-229. (IAC. Boletim Técnico, 100).
- LOUZADA JN, SCHOEREDER, J, DE MARCO Jr P. (1997). Litter decomposition in semideciduous forest and Eucalyptus spp. crop in Brazil: a comparison. **Forest ecology and Management**, 94(1-3): 31-36. DOI: [https://DOI.org/10.1016/S0378-1127\(96\)03986-2](https://DOI.org/10.1016/S0378-1127(96)03986-2)

- MAZZETTO AM, BARNEZE AS, FEIGL BJ, VAN GROENIGEN, JW, OENEMA O, CERRI CC. (2014). Temperature and moisture affect methane and nitrous oxide emission from bovine manure patches in tropical conditions. **Soil Biology and Biochemistry**, 76:242-248. DOI: <https://DOI.org/10.1016/j.soilbio.2014.05.026>
- MCDONALD IR, BODROSSY L, CHEN Y, MURRELL JC. (2008). Molecular ecology techniques for the study of aerobic methanotrophs. **Applied and environmental microbiology**, 74(5): 1305-1315. DOI: <https://DOI.org/10.1128/AEM.02233-07>
- MCTI. **Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**. 2ª edição. MCTI, Brasília. 2014.
- MIYAZAWA M, PAVAN MA, BLOCK MFM. (1985). Spectrophotometry determination of nitrate in soil extracts without chemical reduction. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 20:29–133.
- MOSIER A, KROEZ, C, NEVISON C, OENEMA O, SEITZINGER S, VAN CLEEMPOT O. (1998). Closing the global N₂O budget: nitrous oxide emissions through the agricultural nitrogen cycle. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, 52:225–248.
- OSIER A, KROEZ, C, NEVISON C, OENEMA O, SEITZINGER S, VAN CLEEMPOT O. (1998). Closing the global N₂O budget: nitrous oxide emissions through the agricultural nitrogen cycle. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, 52:225–248. 1998.
- MOREIRA FMS, SIQUEIRA JO. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2006.
- OLIVEIRA CC, ALVES FV, DE ALMEIDA RG, GAMARRA EL, VILLELA SDJ, DE ALMEIDA MARTINS PGM. (2018). Thermal comfort indices assessed in integrated production systems in the Brazilian savannah. **Agroforestry systems**, 92:1659-1672. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10457-017-0114-5>
- PACIULLO DSC, GOMIDE CAM, CASTRO CRTD, FERNANDES PB, MÜLLER MD, PIRES MDFA, FERNANDES EM, XAVIER DF. (2011). Características produtivas e nutricionais do pasto em sistema agrossilvipastoril, conforme a distância das árvores. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 46:1176–1183. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000009>
- PRATHER MJ, HOLMES CD, HSU J. (2012). Reactive greenhouse gas scenarios: Systematic exploration of uncertainties and the role of atmospheric

- chemistry. **Geophysical Research Letters**, 39. DOI: <https://doi.org/10.1029/2012GL051440>
- RAPOSO E, BRITO LF, JANUSCKIEWICZ ER, OLIVEIRA LF, VERSUTI J, ASSUMPÇÃO FM, CARDOSO AS, SINISCALCHI D, DELEVATTI L, MALHEIROS EB, REIA RA, RUGGIERI AC. (2020). Greenhouse gases emissions from tropical grasslands affected by nitrogen fertilizer management. **Agronomy Journal**, 112:4666-4680. DOI: <https://DOI.org/10.1002/agj2.20385>
- RATH AK, RAMAKRISHNAN B, SETHUNATHAN N. (2002). Temperature dependence of methane production in tropical rice soils. **Geomicrobiology Journal**, 19:581-592. DOI: <https://DOI.org/10.1080/01490450290098595>
- RUGGIERI AC, CARDOSO ADS, ONGARATTO F, CASAGRANDE DR, BARBERO RP, BRITO LDF, AZENHA MV, OLIVEIRA AA, KOSCHECK JFW, REIS, R. A. (2020). Grazing Intensity Impacts on Herbage Mass, Sward Structure, Greenhouse Gas Emissions, and Animal Performance: Analysis of Brachiaria Pastureland. **Agronomy**, 10:1750. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy10111750>
- RUSER R, FLESSA H, RUSSOW R, SCHMIDT G, BUEGGER F, MUNCH JC. (2006). Emission of N₂O, N₂ and CO₂ from soil fertilized with nitrate: effect of compaction, soil moisture and rewetting. **Soil Biology and Biochemistry**, 38:263-274. DOI: <https://DOI.org/10.1016/j.soilbio.2005.05.005>
- RYDEN JC. (1983). Denitrification loss from a grassland soil in the field receiving different rates of nitrogen as ammonium nitrate. **Journal of Soil Science**, 34:355-365. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1983.tb01041.x>
- SIGNOR D, CERRI CEP. (2013). Nitrous oxide emissions in agricultural soils: a review. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 43:322-338. DOI: <https://DOI.org/10.1590/S1983-40632013000300014>
- SMITH KA, BALL T, CONEN F, DOBBIE KE, MASSHEDER J, REY A. (2003). Exchange of greenhouse gases between soil and atmosphere: interactions of soil physical factors and biological processes. **European journal of soil science**, 54:779-791. DOI: <https://DOI.org/10.1128/AEM.65.6.2341-2349.1999>
- VAN DER WEERDEN TJ, LUO J, DI HJ, PODOLYAN A, PHILLIPS RL, SAGGAR S, KLEIN CAM, COX N, ETTEMA P, RYS G. (2016) Nitrous oxide emissions from urea fertilizer and effluent with and without inhibitors applied to pasture. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 219:58-70. DOI: <https://DOI.org/10.1016/j.agee.2015.12.006>

- ZANATTA JA. **Emissão de óxido nitroso afetada por sistemas de manejo do solo e fontes de nitrogênio.** 2009. p. 93. (Tese - Doutorado em Ciência do Solo). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.
- ZEISS CA. (2006). Accelerated methane oxidation cover system to reduce greenhouse gas emissions from MSW landfills in cold, semi-arid regions. **Water Air Soil Pollut**, 176:285–306. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11270-006-9169-z>
- ZHANG C, NIU D, HALL SJ, WEN H, LI X, FU, H, WAN C, ELSEER JJ. (2014). Effects of simulated nitrogen deposition on soil respiration components and their temperature sensitivities in a semiarid grassland. **Soil Biology and Biochemistry**, 75:113–123. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.04.013>