

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL

Matheus Almeida Alves

**Produção de forragem e atividade microbiana do solo em sistemas silvipastoris com capim-buffel
como componente forrageiro**

**Montes Claros
2021**

Matheus Almeida Alves

**Produção de forragem e atividade microbiana do solo em sistemas silvipastoris com capim-buffel
como componente forrageiro**

Versão final

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Orientadora: Leidivan Almeida Frazão

Coorientador: Thiago Gomes dos Santos Braz

Montes Claros

Abril de 2021

Alves, Matheus

A474
P

Produção de forragem e atividade microbiana do solo em sistemas silvipastoris com capim-buffel como componente forrageiro / Matheus Almeida Alves. Montes Claros, 2021.

38 f.:

Dissertação (mestrado) - Área de concentração em Produção Vegetal. Universidade Federal de Minas Gerais / Instituto de Ciências Agrárias.

Orientador(a): Leidivan Almeida Frazão.

Banca examinadora: Karina Toledo da Silva, Carlos Juliano Brant Albuquerque, Thiago Gomes dos Santos Braz, Leidivan Almeida Frazão.

Inclui referências.

1. Guandu. 2. Urease. 3. Eucalipto. I. Frazão, Leidivan Almeida. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Ciências Agrárias. III. Título.

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Aos 30 dias do mês de abril de 2021, às 14:00 horas, sob a Presidência da Professora Leidivan Almeida Frazão, D. Sc. (Orientadora – ICA/UFMG) e com a participação dos Professores Thiago Gomes dos Santos Braz, D. Sc. (Coorientador - ICA/UFMG), Carlos Juliano Brant Albuquerque, D. Sc. (ICA/UFMG) e da Pesquisadora Karina Toledo da Silva, D. Sc. (Epamig), reuniu-se, por videoconferência, a Banca de defesa de dissertação de **MATHEUS ALMEIDA ALVES**, aluno do Curso de Mestrado em Produção Vegetal. O resultado da defesa de dissertação intitulada: "Produção de forragem e atividade microbiana do solo em sistemas silvipastoris com capim-buffel como componente forrageiro", sendo o aluno considerado aprovado. E, para constar, eu, Professora Leidivan Almeida Frazão, Presidente da Banca, lavrei a presente ata que depois de lida e aprovada, será assinada por mim e pelos demais membros da Banca examinadora.

OBS.: O aluno somente receberá o título após cumprir as exigências do ARTIGO 68 do regulamento do Curso de Mestrado em Produção Vegetal, conforme apresentado a seguir:

Art. 68 Para dar andamento ao processo de efetivação do grau obtido, o candidato deverá, após a aprovação de sua Dissertação ou Tese e da realização das modificações propostas pela banca examinadora, se houver, encaminhar à secretaria do Colegiado do Programa, com a anuência do orientador, no mínimo 3 (três) exemplares impressos e 1 (um) exemplar eletrônico da dissertação ou, 4 (quatro) exemplares impressos e 1 (um) exemplar eletrônico da tese, no prazo de 60 (sessenta) dias.


Montes Claros, 30 de abril de 2021.




Leidivan Almeida Frazão
Braz Orientadora



Thiago Gomes dos Santos
Coorientador



Carlos Juliano Brant Albuquerque
Silva Membro



Karina Toledo da
Membro

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por permitir que eu chegasse onde estou, por abençoar meu caminho e guiar meus passos. Pela força, me tornando capaz de superar os obstáculos enfrentados até aqui.

Aos meus pais Ilvânio Alves Pereira e Efigênia José de Almeida, por sempre me incentivar a estudar. Por me ensinarem os valores da vida, a batalhar, por me apoiar e investir em mim para que tudo isto se tornasse possível.

À minha irmã Millena Almeida Alves, pelo amor e carinho, por sempre ser um exemplo a qual eu quero seguir.

À minha namorada Marina Leri Fernandes, pelo companherismo e incentivo, pelo excesso de amor, paciência e zelo. Por estar comigo em meus melhores e piores momentos, em minhas crises de ansiedade.

À minha filha (pet) Sandrinha por alegrar todos os meus dias.

Ao meu amigo Igor Costa de Freitas, por sempre estar disposto a me ajudar em todas as atividades realizadas no presente trabalho, que nunca poupou esforços para as contribuições.

À minha orientadora Profa. Dra. Leidivan Almeida Frazão, pela orientação e ensinamentos, principalmente pela sua confiança, incentivo e amizade, que nunca poupou tempo e esforços para contribuir com esta conquista, pela total disposição sempre que necessitei e por ser um exemplo de profissional e ética.

Ao meu coorientador Prof. Dr. Thiago Gomes dos Santos Braz, pelos ensinamentos e amizade desde os meus tempos de graduação, por sempre me apoiar e acreditar nas minhas capacidades.

Ao campus Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais pela oportunidade de realização do curso de pós-graduação.

Ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal por todo o ensinamento compartilhado durante o curso.

Aos colegas dos grupos de estudo GEFOR e ILPF pela amizade, apoio, ajuda e momentos compartilhados.

Aos colegas do laboratório de Controle de Poluição, pelos momentos compartilhados.

À CAPES meus agradecimentos pela concessão da bolsa de estudos durante o período do Mestrado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, Processo nº 430097/2016-6, e a Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG, Processo nº PPM-00617-18, pelo financiamento que permitiu a execução do projeto.

A todos, muito obrigado!

Produção de forragem e atividade microbiana do solo em sistemas silvipastoris com capim-buffel como componente forrageiro

RESUMO

A utilização dos sistemas integrados de produção visa a diversificação da produção de área agrícolas, permitindo utilizar múltiplos arranjos de espécies em um modelo de produção sustentável. O manejo de espécies forrageiras em monocultivo é consolidado no Brasil, porém a produção em sistemas integrados requer estudos para a compreensão das interações solo-planta na implantação e desenvolvimento das forrageiras. Assim, neste estudo objetivou-se avaliar a biomassa microbiana e atividade enzimática do solo, a produtividade do capim-buffel (*Cenchrus ciliaris* cv. Aridus) consorciado com eucalipto (*E. urophylla* x *E. grandis*) (SP1) e consorciado com feijão-guandu (*Cajanus cajan* cv. Iapar 43) e eucalipto (SP2) em sistemas silvipastoris, utilizando arranjo de 3 x 20 m. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados com quatro repetições, em arranjo fatorial 2 x 4, onde o primeiro fator está relacionado as culturas consorciadas com eucalipto (capim-buffel e capim-buffel+feijão-guandu), e o segundo fator remete a alocação dos pontos de avaliação a partir das linhas de árvores de eucalipto (2m, 4m, 6m, 8m). As avaliações de planta iniciaram simultaneamente com as de solo 150 dias após o plantio, em sequência ao desbaste das plantas de feijão-guandu. A coleta de plantas foi realizada para determinação de massa verde, massa seca, composição morfológica (%) de folha, colmo e material senescente. No momento do desbaste também foi realizada a medição da altura do dossel e da massa de raízes. A coleta de solo foi realizada nas profundidades 0-5, 5-10 e 10-20 cm para determinar o nitrogênio (N_{mic}) e o carbono (C_{mic}) microbianos. Coletas nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm foram realizadas para avaliação da atividade das enzimas β -glicosidase e urease. Os dados obtidos foram submetidos ao teste Tukey ($p < 0,05$) com auxílio do software R, versão 4.0.3. Nas distâncias de 6 e 8 metros do eucalipto, os valores de altura de dossel (AD) e massa de raízes (MR) do capim-buffel foram maiores no sistema SP1 em comparação ao SP2. O aumento das distâncias das linhas do eucalipto contribuiu com a diminuição do percentual de folhagem e aumento do percentual de colmo, enquanto que a massa seca não diferiu entre os tratamentos. A massa seca (MS) apresentou maior percentagem na distância de 8m no SP1 e 6m no SP2. Em relação ao C_{mic}, não houve interação e, somente na profundidade de 5-10 cm houve diferença entre os tratamentos, onde o valor foi maior na distância de 2 m do eucalipto. Para o N_{mic}, na profundidade 5-10 cm, os valores decaíram a medida em que se distanciou da linha de eucalipto. A atividade da enzima β -glicosidase foi maior na distância de 2 m no sistema SP1 para as duas profundidades avaliadas. Já no sistema SP2, o menor valor foi verificado na distância de 2m para a profundidade 0-5 cm. A atividade da enzima urease foi menor a 8 m de distância do eucalipto para as duas profundidades avaliadas. Diante do exposto, verificou-se que a produtividade do capim-buffel foi maior no sistema SP1, enquanto que os atributos microbiológicos do solo tiveram melhor resposta no sistema SP2. Assim, foi possível concluir que o maior adensamento e sombreamento causados pelo consórcio com feijão-guandu e eucalipto inibiram o crescimento e produtividade do capim-buffel, porém aumentaram a atividade microbiana do solo.

Palavras-chave: *Cajanus cajan*; *Cenchrus ciliaris*; urease; β -glicosidase.

Forage production and soil microbial activity in silvopastoral systems with buffel grass as forage component

ABSTRACT

The use of integrated production systems aims to diversify the production of agricultural areas, allowing the use of multiple species arrangements in a sustainable production model. The management of forage species in monoculture is consolidated in Brazil, however production in integrated systems requires studies to understand the soil-plant interactions in the implantation and development of forages. Thus, this study aimed to evaluate the microbial biomass and soil enzymatic activity, the productivity of buffel grass (*Cenchrus ciliaris* cv. Aridus) intercropped with eucalyptus (*E. urophylla* x *E. grandis*) (SP1) and intercropped with black beans pigeon pea (*Cajanus cajan* cv. Iapar 43) and eucalyptus (SP2) in silvopastoral systems, using a 3 x 20 m arrangement. The experimental design used was in randomized blocks with four replications, in a 2 x 4 factorial arrangement, where the first factor is related to crops intercropped with eucalyptus (grass-buffel and grass-buffel + pigeon pea), and the second factor refers to allocation of assessment points from the eucalyptus tree lines (2m, 4m, 6m, 8m). Plant evaluations started simultaneously with soil evaluations 150 days after planting, following thinning of pigeonpea plants. The collection of plants was performed to determine green mass, dry mass, morphological composition (%) of leaf, stem and senescent material. At the time of thinning, the height of the canopy and the root mass were also measured. Soil collection was carried out at depths 0-5, 5-10 and 10-20 cm to determine microbial nitrogen (N_{mic}) and carbon (C_{mic}). Collections at depths of 0-5 and 5-10 cm were performed to evaluate the activity of β -glycosidase and urease enzymes. The data obtained were submitted to the Tukey test ($p < 0.05$) with the aid of software R, version 4.0.3. In the distances of 6 and 8 meters from the eucalyptus, the values of canopy height (CD) and root mass (RM) of the buffel grass were higher in the SP1 system compared to SP2. The increase in the distances of the eucalyptus lines contributed to the decrease in the percentage of leaves and an increase in the percentage of stalk, while the dry mass did not differ between treatments. The dry matter (DM) showed the highest percentage in the distance of 8m in SP1 and 6m in SP2. In relation to C_{mic}, there was no interaction, and only at a depth of 5-10 cm was there a difference where the value was greater at a distance of 2 m from the eucalyptus. For N_{mic}, the values decreased as it moved away from the eucalyptus line at a depth of 5-10 cm. The activity of the β -glycosidase enzyme was greater at a distance of 2 m in the SP1 system for the two depths evaluated. In the SP2 system, the lowest value was found in the distance of 2m for the depth 0-5 cm. The activity of the urease enzyme was less than 8 m away from the eucalyptus for the two depths evaluated. Given the above, it is concluded that the productivity of the buffelgrass was higher in the SP1 system, while the microbiological attributes of the soil had a better response in the SP2 system, as pigeonpea and eucalyptus inhibited the growth and productivity of the buffelgrass.

Keywords: *Cajanus cajan*; *cenchrus ciliaris*; urease; β -glicosidase.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – Mapa de localização da área de estudo no município de Monte Claros, estado de Minas Gerais, Brasil	33
FIGURA 2 – Composição morfológica de capim-buffel cultivado em sistemas silvipastoris considerando as diferentes distâncias de avaliação do componente florestal	34
FIGURA 3 – Carbono microbiano do solo (Cmic) em sistemas silvipastoris até 20 cm de profundidade, considerando diferentes distâncias do componente florestal	35
FIGURA 4 – Nitrogênio microbiano do solo (Nmic) em sistemas silvipastoris até 20 cm de profundidade, considerando diferentes distâncias do componente florestal	36
FIGURA 5 – Atividade da enzima urease (mg de p-nitrofenol kg ⁻¹ de solo) em sistemas silvipastoris considerando diferentes distâncias do componente arbóreo.....	37

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Parâmetros de crescimento e desenvolvimento radicular do capim-buffel cultivado em sistemas silvipastoris, considerando diferentes distâncias do componente arbóreo.....	32
TABELA 2 – Atividade da enzima β -glucosidase (mg de p-nitrofenol kg ⁻¹ de solo) em sistemas silvipastoris, considerando diferentes distâncias do componente arbóreo	32

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Cmic	–	Carbono microbiano
ILPF	–	Integração Lavoura-Pecuária-Floresta
Nmic	–	Nitrogênio microbiano
SP	–	Sistema Silvistoril

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	12
3	REVISÃO DE LITERATURA	13
3.1	Sistemas integrados de produção	13
3.2	Pastagens em sistemas integrados de produção.....	14
3.3	Capim-buffel	14
3.4	Biomassa microbiana e atividade enzimática do solo	15
3.5	Referências.....	16
4	ARTIGO.....	20
4.1	Artigo 1 – Produção de forragem, biomassa microbiana e atividade enzimática do solo em sistemas silvipastoris com capim-buffel como componente forrageiro	20
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	38

1 INTRODUÇÃO

O aumento populacional ao longo dos anos demandou a necessidade da expansão das fronteiras agrícolas para suprir a demanda por alimentos. Porém, essa pressão exercida no ecossistema, quando não realizada de forma sustentável, contribuiu para um desequilíbrio ecológico acarretando em perdas na qualidade de solo e, conseqüentemente, na produtividade dos sistemas agrícolas.

O manejo inadequado de pastagens também é um fator que tem pressionado o ecossistema, levando à degradação. Como resultado, temos a perda do vigor e da produtividade de biomassa forrageira, que se torna incapaz de se recuperar espontaneamente e sustentar os níveis de produção e qualidade exigidos pelos animais (MACEDO *et al.*, 2014).

Em ambas situações, a inserção de sistemas produtivos sustentáveis, como os sistemas silvipastoris (SP) vêm sendo alvo de estudos nos últimos anos devido a sua viabilidade econômica, social e ambiental. Dentre as principais vantagens dos sistemas integrados para o agroecossistema estão o aumento da fixação de carbono no solo e nas culturas, a maior ciclagem de nutrientes, o aumento da biodiversidade e a melhoria das propriedades químicas, físicas e microbiológicas do solo.

A qualidade do solo pode ser mensurada pela avaliação da biomassa microbiana e sua atividade. De acordo com Neves *et al.* (2009), esses indicadores têm sido apontados como os mais sensíveis às alterações na qualidade do solo causadas por mudanças de uso e práticas de manejo. Os microrganismos presentes no solo têm a atividade metabólica influenciada fortemente pela presença de raízes e materiais orgânicos em decomposição (ALCANTARA *et al.*, 2021), evidenciando assim, a sua importância nas avaliações de sustentabilidade do meio de produção.

A introdução de sistemas integrados em regiões semiáridas tem grande potencial para elevar os índices produtivos e melhorar a sustentabilidade agrícola. Nestas regiões, o componente forrageiro assume grande importância em condições de sequeiro e pode ser constituído por gramíneas e leguminosas tolerantes à seca, como capim-buffel e feijão guandu.

Chaves *et al.* (2012) destacam que os atributos do solo, físicos, químicos e biológicos se modificam de acordo com o manejo utilizado, e quando este é executado de forma incorreta, pode levar a perda de qualidade e produtividade das culturas, logo, monitorar os atributos do solo é imprescindível para garantir uma produção ao longo do tempo.

Diante da diversidade de componentes nos sistemas de produção integrados e seus possíveis arranjos, verifica-se a necessidade de estudos para a compreensão das interações ali existentes.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Determinar a biomassa microbiana e atividade enzimática do solo, e a produtividade do capim- buffel (*Cenchrus ciliaris* cv. *Aridus*) em dois arranjos de sistemas silvipastoris, considerando diferentes pontos de amostragem a partir da linha de cultivo da espécie arbórea.

2.2 Objetivos Específicos

- ↓ Determinar o carbono e nitrogênio da biomassa microbiana e atividade enzimática do solo em dois arranjos de sistemas silvipastoris;
- ↓ Avaliar a biomassa radicular e componentes morfológicos do capim-buffel;
- ↓ Estimar a produtividade do capim-buffel em dois arranjos de sistemas silvipastoris.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Sistemas integrados de produção

Segundo a FAO (2010), os modelos de produção atuais não estão alinhados aos desafios da futura produção de alimentos, obrigatoriamente segura e sustentável. Assim, os sistemas integrados de produção, tais como, os sistemas silvipastoril, agropastoril e agrossilvipastoril, denominados de integração lavoura, pecuária e floresta (ILPF) têm sido cada vez mais estudados e implementados (MULLER *et al.*, 2015). Visando o aumento da capacidade produtiva e rentabilidade, evitando a expansão das fronteiras agrícolas, a exploração de sistemas integrados de produção se adequa a estas necessidades, pois consiste na associação de práticas agrícolas, pecuárias e florestais dentro de uma mesma área, rotacionados, consorciados ou em sucessão.

O sistema de integração lavoura-pecuária ou agropastoril integra lavoura e pecuária em uma mesma área, seja em consórcio, em rotação ou sucessão, em um mesmo ano agrícola ou por anos consecutivos. O sistema de integração pecuária-floresta ou silvipastoril integra componentes pecuários e florestais em consórcio numa mesma área. Já o sistema de lavoura-floresta ou silviagrícola integra os componentes florestais e agrícolas consorciados em uma mesma área, podendo o cultivo agrícola ser empregado na fase inicial da implantação do cultivo florestal ou em ciclos ao longo da duração do sistema, podendo ser anuais ou perenes. O sistema de integração lavoura-pecuária-floresta ou agrossilvipastoril integra lavoura, pecuária e floresta em uma mesma área, podendo ser em consórcio, rotação ou sucessão. A cultura agrícola é incluída no início da implantação da espécie florestal ou em ciclos durante o período do sistema.

Cordeiro *et al.* (2015) descrevem os sistemas que integram as atividades agrícolas, pecuárias e/ou florestais como tecnologias sustentáveis de produção para as regiões tropicais, sendo, na atualidade, capazes de viabilizarem uma produção econômica, ambiental e socialmente sustentável, além de otimizar os recursos técnicos que são aplicados nos processos produtivos. A produção diversificada amplia a origem de retorno econômico, além de ofertar um melhor ciclo biológico para as plantas, animais, microrganismos, insumos e resíduos. De acordo com Vilela *et al.* (2012), os principais sistemas estão pautados na produção grãos, recuperação de pastagens degradadas via cultivos agrícolas e melhor uso da propriedade pela rotação de culturas.

Skorupa; Manzatto (2019) estimaram que na safra 2015/ 2016a área de adoção de sistemas ILPF no Brasil foi de 11,5 milhões de ha⁻¹, que corresponde a 5,5% das áreas antropizadas sob uso agropecuário. A integração de diferentes componentes resulta em sistemas bastante complexos e dinâmicos, tornando necessário a realização de pesquisas científicas e tecnológicas com avaliações experimentais de longo prazo. Além disso, a realização de pesquisas regionalizadas também permite inferir sobre a sustentabilidade desses sistemas em diversos ambientes de cultivo para que, a criação de futuras áreas de produção vizem o máximo dos benefícios gerados pela integração (BALBINO *et al.*, 2011).

Quando o sistema silvipastoril ou agrossilvipastoril for bem concebido, estes passam a ser uma boas escolhas para produtores dispostos a diversificar suas fontes de receita sem diminuir a produção animal, nos estágios iniciais do desenvolvimento das árvores (OLIVEIRA *et al.*, 2014).

3.2 Pastagens em sistemas integrados de produção

As pesquisas com sistemas silvipastoris no sudeste do Brasil tiveram início no final da década de 1970, se concentrando principalmente em Minas Gerais, em decorrência da grande atividade relacionada o reflorestamento com *Eucalyptus* sp.. Apesar do interesse crescente nos últimos anos, implicando em maior necessidade de pesquisas envolvendo a interação entre componente arbóreo e forrageiro, as informações científicas ainda são reduzidas. Tomaz; Wander (2017) em seu estudo relatam a dificuldade da adoção de sistemas integrados, principalmente na falta de assistência técnica aos agricultores e pecuaristas. Os mesmos autores afirmam que o acesso a informações relacionadas aos sistemas integrados se restringe muito a internet, dificultando a disponibilidade de acesso por parte dos produtores.

Através desta modalidade de sistema integrado de produção, por realizar um melhor aproveitamento dos diferentes estratos da vegetação, é possível melhorar a diversificação da produção e potencializar o uso da terra, da mão de obra, da renda e da produção de serviços ambientais (RIBASKI; MONTOYA; RODIGHIERI, 2001). Embora os sistemas que determinam a produção das forrageiras sejam similares, as plantas manifestam respostas distintas para cada espécie, uma vez que a plasticidade fenotípica é singular e específica (HODGSON; SILVA, 2002).

As árvores, porém, reduzem a luminosidade disponível para as plantas que crescem sob suas copas e têm influência sobre aspectos morfofisiológicos determinantes da produtividade da pastagem. O mesmo autor obteve em seu trabalho uma maior taxa de alongamento foliar e produção de matéria seca em *Brachiaria decumbens* com 50% de sombreamento comparada ao pleno sol.

Martuscello et al. (2009), avaliando a produção de três gramíneas do gênero *Brachiaria* (Decumbens, Marandu e Xaraés), submetidas a três níveis de sombreamento artificial (0, 50 e 70% de sombreamento), observaram que todas as forrageiras analisadas tendem a alongar os colmos e folhas como tentativa de exposição do aparato fotossintético à luz, o que aumentou a altura das plantas à medida em que se elevou o sombreamento. Apesar da cultivar Xaraés ter apresentado maior produção em todos os níveis de sombreamento, na condição de 50% sombreamento, a cultivar Marandu e a *U. Decumbens* apresentaram melhores resultados (24,6 e 56,2%, respectivamente), quando comparadas com a condição de sol pleno.

3.3 Capim-buffel

Originário da África, o capim-buffel é uma espécie perene, de porte variável entre 0,6 e 1,5 m de altura, dependendo da variedade ou cultivar. De maneira geral, apresenta melhor crescimento em solos arenosos e profundos, podendo também crescer satisfatoriamente em solos argilosos com boa drenagem, já que seu enraizamento é profundo. Seu valor nutritivo é alto, com alta digestibilidade da matéria seca e da proteína bruta, e possui boa palatabilidade. A produtividade de diversas variedades do capim-buffel varia com o local de produção, de acordo com a maior ou menor adaptação às condições locais, com produtividade variável entre 8 e 12 t ha⁻¹ ano⁻¹ de matéria seca (OLIVEIRA, 1981).

O capim-buffel também possui características consideradas importantes para região árida e semiárida, como adaptabilidade a regimes pluviométricos inferiores a 500 mm e elevada exigência a

fertilidade de solos, com boa aceitação pelos pecuaristas. Por ser a planta forrageira mais adaptada às condições semiáridas do Nordeste, motivaram-se diversas avaliações cujos resultados abrangeram vários aspectos do seu cultivo, manejo e utilização (OLIVEIRA, 1993).

Trabalhos desenvolvidos no Sertão de Pernambuco pelo IPA e Embrapa Semiárido (GUIMARÃES FILHO; SOARES, 1995) têm evidenciado o potencial de produção do capim-buffel usado estrategicamente na época seca como complemento da vegetação da caatinga. De acordo com Santos *et al.* (2005), o uso do diferimento em pastos de capim-buffel pode garantir oferta de forragem suficiente para atender o bom nível de consumo pelos animais durante o período seco.

Um sistema radicular bem desenvolvido na gramínea forrageira é necessário para a formação e sustentação da planta e, como consequência, para a boa produtividade da pastagem (BATISTA; MONTEIRO, 2006).

Coutinho *et al.* (2015) em seu trabalho avaliaram a massa radicular do capim-buffel com diferentes turnos de rega, onde obtiveram valores entre 15,38 e 0,95 gramas para 2 e 10 dias sem irrigação respectivamente, afirmando também que o capim-buffel apresenta um grande volume de raízes. Tal fato indica que, em condições ideais, essas gramíneas são importantes para conservação e incremento de matéria orgânica do solo, pela alta produção de raízes.

3.4 Biomassa microbiana e atividade enzimática do solo

Os microrganismos são responsáveis pelo funcionamento do solo e sua atividade é quantificada pela biomassa microbiana. Esse termo, por sua vez, é apontado como um indicador sensível para o monitoramento da qualidade do solo já que retrata a população e diversidade, além de ser importante para a ciclagem dos nutrientes e formação da matéria orgânica (ARAÚJO *et al.*, 2012).

A biomassa microbiana é proporcionalmente a menor fração do C orgânico do solo e constitui uma parte significativa e potencialmente mineralizável do N disponível para as plantas. Ela apresenta rápida ciclagem e responde intensamente às flutuações sazonais de umidade e temperatura, ao cultivo e ao manejo de resíduos (GAMA-RODRIGUES *et al.*, 2005).

Os maiores valores do C prontamente mineralizável são observados na camada superficial do solo (0-5 cm) devido ao acúmulo de resíduos vegetais. (MATSUOKA; MENDES; LOUREIRO, 2003). Segundo Souza (2016), o C da biomassa microbiana do solo está diretamente relacionado com o teor de matéria orgânica do solo (MOS), de forma que em áreas degradadas são esperados menores teores de MOS e do C microbiano.

Horst *et al.* (2017) observaram que a biomassa microbiana do solo em pastagem de *Brachiaria brizanthacv.* MG 5 em monocultivo apresentou menores valores que o mesmo capim quando cultivado em sistema silvipastoril. Já Santana *et al.* (2017) que trabalharam com *Brachiaria brizanthacv.* Marandu obtiveram valores similares em seu estudo, porém estes valores foram inferiores quando comparados a mata nativa.

Araújo *et al.* (2020) avaliando diferentes sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta e monocultivo de gramíneas nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm observaram que todos os sistemas, em todas as profundidades apresentaram maiores valores de C_{mic} na estação chuvosa quando comparado a estação seca, evidenciando a importância da água para a manutenção da

microbiota do solo.

A população microbiana por sua vez, tem suas atividades mensuradas através das enzimas, que atuam como catalisadoras de reações na manutenção dos seres vivos, na decomposição de resíduos orgânicos, e formação da matéria orgânica disponível (CIARKOWSKA *et al.*, 2014). No mesmo sentido, Makoi; Ndakidemi (2008) afirmam que a quantificação da atividade enzimática do solo possibilita o entendimento sobre sua qualidade em respostas aos manejos empregados. Os efeitos da ação enzimática são significativos para o crescimento e a absorção de nutrientes pelas plantas.

A β -Glicosidase é uma das enzimas mais comuns no solo, sendo fundamental para a realização da hidrólise de celobiose, atuando na etapa final de degradação da celulose, liberando como produto a glicose, uma importante fonte de energia para os microrganismos (MAKOI; NDAKIDEMI, 2008, LOPES, 2012). A maior atividade da enzima β -glicosidase é observada em áreas com adição de material orgânico em diferentes estágios de decomposição, providos de adubação orgânica e restos vegetais de culturas anteriores (EVANGELISTA, 2012). Já a enzima urease atua hidrolase, que participa da ciclagem de nutrientes do solo e hidrólise da matéria orgânica do solo. Esta enzima é indicadora da transformação do nitrogênio orgânico em mineral, processo denominado de mineralização (SILVA *et al.*, 2018).

Silva *et al.* (2012), estudando áreas agrícolas, florestais e com pastagem, observaram que a atividade da β -glicosidase foi maior e igual nas áreas de pastagem e floresta quando comparados a área de agricultura, tanto no período seco quanto no chuvoso. Adicionalmente, Bending, Turner e Jones, (2002) declararam que a atividade enzimática aumenta à medida que eleva o conteúdo de matéria orgânica do solo.

3.5 Referências

- ALCANTARA, F. D. O.; DOS SANTOS, F. G. B.; MICHEREFF, S. J.; MACIEL, T. C. M.; VÁSQUÉZ, M. A. N. Análise microbiológica e avaliação dos indicadores de qualidade de solo sob diferentes sistemas de uso: um estudo de caso no cariri cearense. **Revista Acta Kariri-Pesquisa e Desenvolvimento**, v. 3, n. 1, 2021.
- ARAÚJO, E. A.; KER, J. C.; NEVES, J. C. L.; LANI, J. L. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Applied Research & Agrotechnology**, v. 5, n. 1, p. 187-206, 2012.
- ARAÚJO, N. C. A.; FRAZÃO, L. A.; DE FREITAS, I. C.; ALVES, E. A.; FREITAS, D. A.; SANTOS, M. V.; SANGLARD, D. A.; FERNANDES, L. A. Soil chemical and microbiological attributes under integrated production system in Oxisol of degraded pasture. **Australian Journal of Crop Science**, v. 14, n. 11, p. 1772-1778, 2020.
- BALBINO, L. C.; CORDEIRO, L. A. M.; PORFIRIO-DA-SILVA, V.; MORAES, A.; MARTÍNEZ, G. B.; ALVARENGA, R. C.; KICHEL, A. N.; FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P.; FRANCHINI, J. C.; GALERANI, P. R. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1-12, 2011.
- BATISTA, K.; MONTEIRO, F. A. Sistema radicular do capim-marandu, considerando as combinações de doses de nitrogênio e de enxofre. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 5, p. 821-828, 2006.
- BENDING, G. D.; TURNER, M. K.; JONES, J. E. Interactions between crop residue and soil organic matter quality and the functional diversity of soil microbial communities. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 34, n. 8, p. 1073-1082, 2002.

BERNARDINO, F. S.; GARCIA, R. Sistemas Silvopastoris. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 60, p. 77, 2010.

CHAVES, Aurélio Alves Amaral et al. Indicadores de qualidade de Latossolo Vermelho sob diferentes usos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 4, p. 446-454, 2012.

CIARKOWSKA, K.; SOŁEK-PODWIKA, K.; WIECZOREK, J. Enzyme activity as an indicator of soil-rehabilitation processes at a zinc and lead ore mining and processing area. **Journal of environmental management**, v. 132, p. 250-256, 2014.

CORDEIRO, L. A. M.; VILELA, L.; MARCHÃO, R. L.; KLUTHCOUSKI, J.; MARTHA JÚNIOR, G. B. Integração Lavoura-Pecuária e integração Lavoura-Pecuária-Floresta: estratégias para intensificação sustentável do uso do solo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 32, p. 15-43, 2015.

COUTINHO, M. J. F.; CARNEIRO, M. D. S. D. S.; EDVAN, R. L.; SANTIAGO, S.; ALBUQUERQUE, D. R. Características morfogênicas, estruturais e produtivas de capim-buffel sob diferentes turnos de rega. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 2, p. 216-224, 2015. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1983-40632015000200012&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 18 Abr. 2021.

DANIEL, O.; COUTO, L.; GARCIA, R.; PASSOS, C. A. M. Proposta para padronização da terminologia empregada em sistemas agrofloreais no Brasil. **Revista Árvore**, v. 23, n. 3, p. 367-370, 1999.

DANTAS NETO, J.; SILVA, F. A. S.; FURTADO, D. A.; MATOS, J. A. D. Influência da precipitação e idade da planta na produção e composição química do capim-buffel. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 9, p. 1867-1874, 2000.

EVANGELISTA, C. R.; PARTELLI, F. L.; BRITO FERREIRA, E. P.; CORRECHEL, V. Goiás Atividade enzimática do solo sob sistema de produção orgânica e convencional na cultura da cana-de-açúcar em Goiás. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 4, p. 1251-1262, 2012.

FAO. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **An international consultation on integrated crop-livestock systems for development: the way forward for sustainable production intensification**. Roma: FAO; IFAD; FIDA; IICA; Embrapa, 2010. (Integrated Crop Management, v.13).

GAMA-RODRIGUES, E. F.; BARROS, N. F. de; GAMA-RODRIGUES, A. C. da; ARAÚJO SANTOS, G. Nitrogênio, carbono e atividade da biomassa microbiana do solo em plantações de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 6, p. 893-901, 2005.

GUIMARÃES FILHO, C.; SOARES, J. G. G.; RICHÉ, G. R. **Sistema caatinga-buffel-leucena para produção de bovinos no semi-árido**. Petrolina: EMBRAPA-CPATSA, 1995. 39p.

HODGSON, J.; SILVA, S. C. da. Options in tropical pasture management. **Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v. 39, p. 180-202, 2002.

HORST, R.; DE ANGELO MATHEOS, P. H.; CRUZ, R. M. S. da; SOUZA GONÇALVES, C. H. de; ALMAS, L. R. M. das; PACCOLA-MEIRELLES, L. D.; ALBERTON, O. Indicadores de qualidade do solo cultivado com café, pastagem e integração pastagem e eucalipto. **Arquivos de Ciências Veterinárias e Zootecnia da UNIPAR**, v. 20, n. 4, 2017.

JOCHIMS, F.; SILVA, P. A. P. da; PORTES, V. M. Utilizando a altura do pasto como ferramenta de manejo de pastagens. **Agropecuária Catarinense**, v. 31, n. 2, p. 42-44, 2018.

LOPES, André Alves de Castro. **Interpretação de indicadores microbiológicos em função da matéria orgânica do solo e dos rendimentos de soja e milho**. 2012. vii, 96 f., il. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

MACEDO, M. C. M.; ZIMMER, A. H.; KICHEL, A. N.; ALMEIDA, R. G. de.; ARAUJO, A. R. de. Degradação de pastagens, alternativas de recuperação e renovação, e formas de mitigação. In: CONGRESSO, Ribeirão Preto, SP. **Anais [...]**. Ribeirão Preto: Embrapa Gado de Corte, 2014. p. 158-181.

- MARTUSCELLO, J. A.; JANK, L.; GONTIJO NETO, M. M.; LAURA, V. A.; CUNHA, D. N. F. V. Produção de gramíneas do gênero *Brachiaria* sob níveis de sombreamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 7, p. 1183-1190, 2009.
- MAKOI, J. H. J. R.; NDAKIDEMI, P. A. Selected soil enzymes: examples of their potential roles in the ecosystem. **African Journal of Biotechnology**, v. 7, n. 3, 2008.
- MATSUOKA, M.; MENDES, I. C.; LOUREIRO, M. F. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na Região de Primavera do Leste. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 3, p. 425-433, 2003.
- MULLER, M.; MARTINS, C. E.; BRIGHENTI, A.; MORENZ, M.; ROCHA, W. S. D.; SOUZA SOBRINHO, F. D.; CALSAVARA, L. H. F.; ANDRADE, P. J. M. Machado, A. F. Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta como alternativa para produção pecuária leiteira sustentável em áreas declivosas. *In: Embrapa Gado de Leite-Capítulo em livro científico (ALICE)*, 2015.
- NEVES, C. M. N.; SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; MACEDO, R. L. G.; MOREIRA, F. M. D. S.; D'ANDRÉA, A. F. Indicadores biológicos da qualidade do solo em sistema agrossilvopastoril no noroeste do estado de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, n. 1, p. 105-112, 2009.
- OLIVEIRA, C. C.; VILLELA, S. D. J.; ALMEIDA, R. G.; ALVES, F. V.; BEHLING-NETO, A.; ALMEIDA MARTINS, P. G. M. Performance of Nellore heifers, forage mass, and structural and nutritional characteristics of *Brachiaria brizantha* grass in integrated production systems. **Tropical Animal Health and Production**, v. 46, n. 1, p. 167-172, 2014.
- OLIVEIRA, M.C. **O capim-buffel nas regiões secas do Nordeste**. Petrolina: Embrapa-CPATSA, 1981. 19p.
- OLIVEIRA, M. C. **Capim-buffel: produção e manejo nas regiões secas do Nordeste**. Petrolina: Embrapa CPATSA, 1993. (Circular Técnica, 27).
- PACIULLO, D. S. C., CAMPOS, N. R., GOMIDE, C. A. M., DE CASTRO, C. R. T., TAVELA, R. C., ROSSIELLO, R. O. P., Crescimento de capim-braquiária influenciado pelo grau de sombreamento e pela estação do ano. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 7, p. 917-923, 2008.
- RIBASKI, J., MONTOYA, L. J. V., RODIGHIERI, H. R. Sistemas agroflorestais: aspectos ambientais e sócio-econômicos. **Informe Agropecuário**, v. 22, n. 212, p. 61-67, 2001.
- RICHARDS, J. H. Physiology of plant recovery from defoliation. *In: BAKER, M. J. (ed). Grassland for our world*. Wellington: SIR Publishing, 1993. p. 46-54.
- RODRIGUES, J. L. M.; PELLIZARI, V. H.; MUELLER, R.; BAEK, K.; JESUS, E. C.; PAULA, F. S.; MIRZA, B.; HAMAOUJI JR., G. S.; TSAI, S. M.; FEIGL, B.; TIEDJE, J. M.; BOHANNAN, B. J. M.; NÜSSLEIN, K. Conversion of the Amazon rainforest to agriculture results in biotic homogenization of soil bacterial communities. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 110, p. 988-993, 2013.
- RODRIGUES, R. C.; MOURÃO, G. B.; BRENNECKE, K.; LUZ, P. H. de C.; HERLING, V. R. Produção de matéria seca, relação folha/colmo e alguns índices de crescimento do *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés cultivado com a combinação de doses de nitrogênio e potássio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. 3, p. 394-400, 2008.
- ROUWER, R. Nutritive influences on the distribution of dry matter in the plant. **Netherlands Journal of Agricultural Science**, v.10, n.5, p. 399-408, 1962.
- SANTANA, A. S.; SILVA CHAVES, J. da; SANTANA, A. S.; RODRÍGUEZ, C. A.; MORAES, E. R. Biomassa microbiana em diferentes sistemas de manejo do solo no sul do estado de Roraima. **Revista Brasileira de Ciências da Amazônia [Brazilian Journal of Science of the Amazon]**, v. 6, n. 1, p. 43-50, 2017.

SANTOS, G. R. D. A. U.; GUIM, A. U.; SANTOS, M. V. F. D.; FERREIRA, M. D. A.; LIRA, M. D. A.; DUBEUX JÚNIOR, J. C. B.; SILVA, M. J. D. U. Caracterização do pasto de capim-buffel diferido e da dieta de bovinos, durante o período seco no sertão de Pernambuco. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, n. 2, p. 454-463, 2005.

SILVA, A. E. O.; INÁCIO, E. S. B.; SALCEDO, I. H.; AMORIM, L. B. Soil enzymatic activities in areas with stages and management of forest regeneration from Caatinga. **Revista Caatinga**, v. 31, n. 2, p. 405-414, 2018.

SOUZA, C. A. D.; REIS JUNIOR, F. B. D.; MENDES, I. D. C.; LEMAINSKI, J.; SILVA, J. E. D. Carbono orgânico total, biomassa microbiana e atividade enzimática do solo de áreas agrícolas, florestais e pastagem no médio Vale do Paraíba do Sul (RJ). **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v. 36, n. 6, p. 1680-1689, 2012. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000600002>.

SILVA, M. A. S. D.; MAFRA, Á. L.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de água em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo. **Ciência Rural**, v. 35, n. 3, p. 544-552, 2005.

SKORUPA, L. A.; MANZATTO, C. V. Avaliação da adoção de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) no Brasil. **Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta no Brasil: conceitos, desafios e novas perspectivas**. Brasília: Embrapa Meio Ambiente, 2018. v. 3, n. 1, p. 340-379.

SOUZA, D. A. de. **Atributos microbiológicos do solo sob sistemas integrados de produção**. 2016. 74 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) – Universidade Estadual do Norte do Paraná, Centro de Ciências Agrárias, 2016.

TEIXEIRA, S. R.; CALSAVARA, L. H. F.; MÜLLER, M. D.; MARTINS, C. E. **Estudo de caso em propriedade leiteira avaliando sinergismo com integração lavoura-pecuária-floresta**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite - Circular Técnica, 2018. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1098698>. Acesso em: 18 abr. 2021.

TOMAZ, G.; WANDER, A. Barreiras à adoção do sistema ILPF em Goiás. **Revista de Política Agrícola**. v. 26, n. 1, p. 93-100, 2017. Disponível em: <https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/view/1247>. Acesso em: 18 abr. 2021.

VILELA, L.; MARTHA JUNIOR, G. B.; MOTTA MACEDO, M. C.; MARCHÃO, R. L.; GUIMARÃES JÚNIOR, Roberto; PULROLNIK, K.; MACIEL, G. A. Sistemas de integração lavoura-pecuária na região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1127-1138, 2012.

4 ARTIGO

4.1 Artigo 1 – Produção de forragem, biomassa microbiana e atividade enzimática do solo em sistemas silvipastoris com capim-buffel como componente forrageiro

Este artigo foi elaborado conforme normas da revista Rangeland Ecology and Management.

Produção de forragem, biomassa microbiana e atividade enzimática do solo em sistemas silvipastoris com capim-buffel como componente forrageiro

Matheus Almeida Alves^a, Igor Costa Freitas^a, Arlen Nicson Lopes Pena^a, Kamila Daniele de Resende Ferreira^a, Carlos Juliano Brant Albuquerque^a, Thiago Gomes dos Santos Braz^a, Leidivan Almeida Frazão^{a*}.

^aInstituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Minas Gerais, Av. 10 Universitária 1000, 39400-090 Montes Claros, MG, Brasil

* Corresponding author: Tel.: +55 38 2101 7939

E-mail address: lafrazao@ica.ufmg.br

Resumo

A utilização dos sistemas integrados de produção visa a intensificação sustentável de áreas agrícolas, permitindo utilizar múltiplos arranjos de espécies anuais e perenes em uma mesma área. O objetivo deste trabalho foi determinar a biomassa e atividade enzimática dos microrganismos do solo, produtividade do capim-buffel em dois arranjos de sistemas silvipastoris. O delineamento utilizado foi blocos casualizados, em arranjo fatorial 2x 4, onde os fatores utilizados foram os dois arranjos dos sistemas silvipastoris (buffel+eucalipto e buffel+guandu+eucalipto) e os pontos de avaliação dentro do sistema distanciados (2m, 4m, 6m e 8m) do componente arbóreo. A altura de resíduo para as análises de planta foi a 15 cm. A coleta de solo foi realizada nas profundidades 0-5, 5-10 e 10-20 cm para avaliar nitrogênio microbiano (N_{mic}) e carbono microbiano (C_{mic}), enquanto que a atividade das enzimas β-glicosidase e urease foram avaliadas nas profundidades 0-5 e 5-10 cm. O capim-buffel no sistema SP1 apresentou maiores valores para altura do dossel, massa seca e massa de raízes em relação ao sistema SP2. Na profundidade de 5-10 cm o valor de C_{mic} foi maior na distância de 2 m em relação a 8m. Para o N_{mic} houve diferença na profundidade de 5-10 cm, onde o maior valor foi obtido na distância de 2m, na profundidade de 10-20 cm, o sistema SP2 foi superior ao SP. Os valores da enzima β-glicosidase foram maiores na distância de 2 m no sistema SP1 nas duas profundidades avaliadas. A atividade da enzima urease foi menor na distância de 8 m para as duas profundidades avaliadas. Assim, observou-se que a biomassa de raiz e parte aérea do capim-buffel foi maior no sistema SP1 e nas maiores distâncias das fileiras de eucalipto. Entretanto, os atributos microbiológicos do solo tiveram melhor resposta no sistema SP2, indicando que a diversificação de espécies nos sistemas integrados de produção aumenta a atividade microbiana do solo.

Palavras-chave: *Cajanus cajan*. *Cenchrus ciliaris*. Urease. B-glicosidase.

Forage production, microbial biomass and soil enzymatic activity in silvopastoral systems with buffel grass as forage component

Abstract

The use of integrated production systems aims at the sustainable intensification of agricultural areas, allowing the use of multiple arrangements of annual and perennial species in the same area. The objective of this work was to determine the biomass and enzymatic activity of soil microorganisms, productivity of buffel grass in two arrangements of silvopastoral systems. The design used was a randomized block design, in a 2 x 4 factorial arrangement, where the factors used were the two arrangements of the silvopastoral systems (buffel+eucalyptus and buffel+guandu+eucalyptus) and the evaluation points within the system spaced apart (2m, 4m, 6m and 8m) of the arboreal component. The residue height for plant analyzes was 15 cm. Soil collection was carried out at depths 0-5, 5-10 and 10-20 cm to evaluate microbial nitrogen (Nmic) and microbial carbon (Cmic), while the activity of β -glucosidase and urease enzymes were evaluated at depths 0-5 and 5-10 cm. Buffel grass in SP1 system showed higher values for canopy height, dry mass and root mass compared to SP2 system. At a depth of 5-10 cm, the Cmic value was greater at a distance of 2 m compared to 8 m. For the Nmic there was a difference in the depth of 5-10 cm, where the highest value was obtained in the distance of 2m, in the depth of 10-20 cm, the SP2 system was superior to the SP. The values of the β -glucosidase enzyme were higher at a distance of 2 m in the SP1 system at the two depths evaluated. The urease enzyme activity was lower at a distance of 8 m for the two depths evaluated. Thus, it was observed that the root and shoot biomass of buffel grass was greater in the SP1 system and at the greatest distances from the eucalyptus rows. However, soil microbiological attributes had a better response in the SP2 system, indicating that species diversification in integrated production systems increases soil microbial activity.

Keywords: *Cajanus cajan*. *Cenchrus ciliaris*. Urease. β -glicosidase.

Introdução

Os sistemas integrados de produção agrícola e pecuário são caracterizados por serem planejados para explorar sinergismo e propriedades emergentes, frutos de interações nos compartimentos solo-planta-animal-atmosfera (Moraes et al., 2012). A atividade pecuária tem se mostrado promissora por meio da integração. Contudo, por envolver diferentes sistemas em uma mesma área, há interações entre as espécies forrageiras e os demais componentes, tornando o manejo mais complexo quando comparado aos sistemas convencionais.

Para o aprimoramento da produção pecuária em áreas integradas deve-se conhecer as respostas das espécies forrageiras ao sombreamento para a adoção de técnicas corretas, garantindo produtividade satisfatória. O sombreamento das gramíneas forrageiras é capaz de modificar características como o alongamento de folhas e de colmos, densidade de perfilhos, área foliar específica, razão parte aérea/raiz e índice de área foliar (Dias Filho, 2000; Gomes et al., 2019). Todas as alterações são realizadas no

sentido de tornar a planta mais eficiente na interceptação da luz e no acúmulo de biomassa em condições restritas de luminosidade.

O capim-buffel é uma forrageira tropical com grande potencial de inserção em sistemas integrados sob sequeiro. Essa planta se destaca por apresentar crescimento em condições de precipitação mínimas de 450 mm e por apresentar sistema radicular robusto e profundo. Dessa forma, a biomassa acumulada por essa forrageira, tanto na parte aérea quanto na raiz, pode contribuir com a dinâmica da ciclagem de nutrientes no agroecossistema.

De acordo com Mercante et al. (2004), os efeitos das práticas de manejo nos teores de matéria orgânica do solo são amplamente mediados pela comunidade microbiana, que atua como agente de transformação da matéria orgânica adicionada. A microbiota do solo é a principal responsável pela decomposição dos resíduos orgânicos, pela ciclagem de nutrientes e pelo fluxo de energia no solo (Pelissaro et al., 2020), a biomassa microbiana e sua atividade têm sido apontadas como as características mais sensíveis às alterações na qualidade do solo, causadas por mudanças de uso e práticas de manejo (Trannin et al., 2007).

Grande parte das transformações bioquímicas que ocorrem nos ambientes de produção é dependente ou relacionada a presença de enzimas (Balota et al., 2004), que são facilmente encontradas no solo, por meio das plantas e microrganismos, além de ser um importante indicador da qualidade biológica do solo, já que e sua atividade pode responder as práticas de adubação mineral e orgânica, e adição de resíduos vegetais (Mendes et al., 2009).

Considerando o interesse crescente nos sistemas integrados de produção e a escassez de informações disponíveis quando se considera as múltiplas possibilidades de arranjos produtivos, observa-se a necessidade e importância de pesquisas que busquem a compreensão das interações nesses sistemas. Portanto, o objetivo deste estudo foi determinar a biomassa microbiana, atividade enzimática do solo e produção do capim-buffel cultivado em diferentes arranjos de sistemas silvipastoris.

Métodos

Localização da área de estudo e caracterização do solo

O experimento foi conduzido entre dezembro de 2019 e agosto de 2020 na cidade de Montes Claros (16°40'03"S e 43°50'40"W), Estado de Minas Gerais, Brasil (Figura 1). De acordo com Alvares et al. (2014), o clima é do tipo Aw, tropical de savana, com inverno seco e verão chuvoso.

O solo da área experimental foi classificado como Argissolo Vermelho Amarelo (Santos et al. 2014), e a análise preliminar revelou os seguintes resultados na camada de 0-20 cm de profundidade: pH em água = 6,5; P-Mehlich (mg dm^{-3}) = 17,52; K (mg dm^{-3}) = 217; Ca^{+2} (cmolc dm^{-3}) = 7,6; Mg^{+2} (cmolc dm^{-3}) = 3,28; Al^{+3} (cmolc dm^{-3}) = 0; H+Al (cmolc dm^{-3}) = 2,08; V (%) = 85; Matéria Orgânica (%): 3,03.

As árvores de eucalipto foram inventariadas no ano de 2016 apresentando uma altura total de 22,76 m. Após mensuração com ceptômetro AccuPAR modelo LP-80, verificou-se que a radiação fotossinteticamente ativa média nas distâncias de 2, 4, 6 e 8 m foram 1.837, 1.842, 1887 e 1950 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente.

Implantação da área e delineamento experimental

A área experimental possui 6.900 m² e vem sendo manejada desde o ano de 2009, onde foi feito a instalação de um sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, ou agrossilvipastoril, para a condução de experimentos. O componente florestal escolhido foi o híbrido eucalipto urograndis (*E. urophylla* x *E. grandis*) em um arranjo de 3 x 10m. Os demais componentes da área de integração foram modificados em função dos projetos executados na área. Para a realização deste experimento, o espaçamento entre as linhas de eucalipto foi aumentando para 20 m, retirando-se linhas alternadas dentro do sistema, de forma que o novo arranjo ficou 3 x 20 m. No início do experimento foi instalado um sistema de irrigação por aspersão com a finalidade de manter o solo sempre próximo a sua capacidade de campo.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados com quatro repetições, em arranjo fatorial 2 x 4, onde o primeiro fator está relacionado ao arranjo do sistema silvipastoril (capim- buffel consorciado com eucalipto (SP1) e capim-buffel consorciado com feijão-guandu e eucalipto (SP2)), e o segundo fator refere-seas distâncias dos pontos de amostragem alocados a partir das linhasdo componente arbóreo (2 m, 4 m, 6 m, 8 m).

Não houve a necessidade de calagem antes da implantação das culturas, porém foi identificada a necessidade de aplicar 40 kg ha⁻¹ de P₂O₅ no plantio e 34,5 kg ha⁻¹ de K₂O e 100 kg ha⁻¹ de N em cobertura. Em dezembro de 2019 realizou-se o preparo do solo com uma gradagem leve.

O plantio das culturas foi realizado entre as linhas de eucalipto. Para o capim-buffel foi utilizado o espaçamento de 0,5 m entre linhas com semeadura na proporção de 35 kg ha⁻¹ de sementes, enquanto que as unidades experimentais que receberam o tratamento com capim-buffel + feijão-guandu tiveram a semeadura do feijão e, após a emergência realizou-se o desbaste deixando um estande de 10 plantas por metro linear.

Avaliações do capim-buffel

Aos 150 dias pós plantio as plantas de feijão-guandu foram retiradas da área para proceder a avaliação da produtividade e características morfológicas do capim-buffel. Para as análises de produtividade, jogou-se ao acaso, em cada tratamento, um retângulo feito de cano PVC com dimensão de 0,5 m², e todo material vegetal acima de 15 cm de altura foi colhido e sequencialmente pesado, para se determinar a massa verde. Na sequência, o material vegetal foi separado em duas subamostras de 50 gramas, sendo uma porção para determinação da massa seca e outra para composição morfológica.

A composição morfológica foi determinada por meio da separação da forragem nos componentes: folhas, colmos e material morto. As subamostras foram secas em estufa de circulação forçada de ar a 65° C por 72 horas. Em posse do peso seco de cada componente, foram estimadas as porcentagens (%) de folha, colmo e material senescente.

A altura de dossel foi avaliada em cada tratamento por meio de seis medições das plantas forrageiras para aumentar a representatividade amostral dessa variável. A avaliação das raízes do capim-buffel foi realizada por meio da retirada de um bloco de solo de 30 x 30 cm em cada tratamento, o qual foi lavado com água corrente de baixa pressão, deixando somente a planta com parte aérea e parte

radicular. Em seguida, as plantas foram cortadas no colo e determinou-se a massa de raízes da forrageira.

Amostragem do solo e avaliação dos atributos microbiológicos

A coleta de solo foi realizada após corte do feijão-guandu nas profundidades de 0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm através da abertura de minitrincheiras com dimensão de 30 x 30 cm. As amostras de solo foram previamente secas ao ar, homogeneizadas, passadas em peneira de 2mm, e posterior retirada do material vegetal por meio de catação manual.

A biomassa microbiana do solo foi estimada pelo método da fumigação-extração proposto por Vance et al. (1987). A determinação do carbono microbiano (Cmic) foi realizada de acordo com metodologia proposta por Silva et al. (2007). O nitrogênio microbiano do solo (Nmic) foi determinado conforme metodologia de Mulvaney e Page (1982) adaptada por Tedesco et al. (1995).

Para a quantificação da atividade da enzima β -glicosidase utilizou-se a metodologia proposta por Tabatabai (1994), baseando-se na determinação colorimétrica do p-nitrofenol liberado por essas enzimas após incubação do solo. Já a atividade da enzima urease foi determinada de acordo com Keeney e Nelson (1983) modificada por Kandeler e Gerber (1988), baseando-se na determinação do p-nitrofenol liberado após incubação do solo.

Análise de dados

O teste de Shapiro-Wilk foi aplicado para verificar a normalidade dos dados de cada variável, e o teste de Cochran e Barlett foi utilizado para avaliara homogeneidade das variâncias. Como as hipóteses foram validadas, os dados foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste Tukey ($p < 0.05$), com auxílio do software estatístico R, versão 4.0.3 (R Development Core Team, 2020).

Resultados

Produtividade e características morfológicas do capim-buffel

No sistema SP1, a altura do dossel do capim-buffel oscilou entre 35.55 cm e 63 cm, já no sistema SP2 os valores variaram entre 26.55 e 31.25 cm. Dentro do sistema SP2, a altura do dossel da forrageira não diferiu entre as distâncias do eucalipto, porém, no sistema SP1 as médias nas distâncias de 6m e 8m foram iguais entre si e superiores às distâncias de 2m e 4m. Nas distâncias de 6 e 8 metros do componente florestal, os valores foram, respectivamente, 26,3cm e 36,45cm maiores no SP1 quando comparadas ao SP2. A diferença de altura do dossel do capim-buffel entre as distâncias de 4m e 6 cm foi de 20,1cm no sistema SP1 (Tabela 1).

Os valores de massa seca do capim-buffel foram variáveis em função das distâncias avaliadas no sistema SP1 apenas na distâncias de 8m (3290.75 kg ha⁻¹) em (Tabela 1). Não houve diferença entre as distâncias para SP2. Ja na comparação entre os sistemas, a produção do sistema SP1 foi maior que a

do SP2 nas distâncias de 6 e 8m.

Para a massa de raízes do capim-buffel, observou-se que no sistema SP1 apresentou valores 64.14 e 173.14% superiores ao SP2 nas distâncias de 6 e 8 m do eucalipto, respectivamente. No sistema SP1, a massa de raízes do capim-buffel foi superior na distância de 8 m do eucalipto, enquanto que dentro do sistema SP2 não houve diferença entre as distâncias avaliadas para esse parâmetro (Tabela 1).

Para os valores da composição morfológica, na distância de 8 m da linha de eucalipto, o percentual de folhas (32.87%) foi menor, enquanto que o percentual de caule (54.53%) foi maior em relação às outras distâncias (Figura 2). O percentual de material senescente não diferiu entre as distâncias avaliadas. Dentro dos consórcios, o percentual de material senescente e folhas do capim-buffel foram, respectivamente, 8% e 2.95% superiores no sistema SP1 em relação ao SP2. O percentual de colmo do capim-buffel não diferiu entre os sistemas avaliados (Figura 2).

Atributos microbiológicos do solo

Para a variável C_{mic} não houve interação entre os fatores, e diferenças entre os tratamentos não foram observadas nas profundidades de 0-5 cm e 10-20 cm. Na profundidade de 5-10 cm, o maior valor obtido foi na distância de 2 m ($462.12 \text{ mg kg}^{-1}$ de solo) e o menor valor na distância de 6 m ($332.14 \text{ mg kg}^{-1}$ de solo) (Figura 3). Os consórcios não apresentaram diferença entre si nas três profundidades avaliadas.

Também não foram observadas interações entre os fatores para a variável N_{mic} (Figura 4). Considerando as diferentes distâncias avaliadas, não houve diferença os dois sistemas para as profundidades de 0-5 cm e 10-20 cm. Na profundidade de 5-10 cm, foi obtido o maior valor de N_{mic} para a distância de 2 m ($23.59 \text{ mg N kg}^{-1}$ de solo) e o menor valor na distância de 8 m ($15.72 \text{ mg N kg}^{-1}$ de solo).

Considerando os dois sistemas avaliados, diferenças foram encontradas para o N_{mic} apenas na profundidade de 10-20 cm, onde o sistema SP2 ($20.64 \text{ mg N kg}^{-1}$ de solo) apresentou valor superior ao sistema SP1 ($15.86 \text{ mg N kg}^{-1}$ de solo) (Figura 4).

Os dados obtidos para a enzima β -glucosidase evidenciaram interação entre os tratamentos para as duas profundidades avaliadas (0-5 cm e 5-10 cm) (Tabela 2). Na profundidade de 0-5 cm, os maiores valores da enzima β -glucosidase observados foram 34 e 33.9 mg de p-nitrofenol kg^{-1} de solo nos sistemas SP1 a 2 m de distância do eucalipto, e no sistema SP2 a 6 m de distância do eucalipto. Na profundidade 5-10 cm, o sistema SP2 apresentou valores superiores ao sistema SP1 nas distâncias de 6 m e 8 m, respectivamente. Dentro do sistema SP1, o maior valor para a enzima β -glucosidase foi obtido para a distância de 2 m, contudo, dentro do sistema SP2 não houve diferença entre as distâncias avaliadas (Tabela 2).

Em relação a enzima urease, não foram observadas interações entre os sistemas e diferentes distâncias do eucalipto. Observou-se na distância de 8m os menores valores para as profundidades 0-5 e 5-10 cm, com valores de 283.5 e 123.67 mg de p-nitrofenol kg^{-1} solo respectivamente (Figura 5). Na profundidade de 0-5, a distância de 8 m foi inferior à de 4 m, ao passo que na profundidade de 5-10, a atividade da urease a 8 m foi inferior às distâncias de 2 e 4 m. A atividade da enzima urease no sistema

SP1 (347.66 mg de p-nitrofenol kg⁻¹ de solo) foi superior em relação ao sistema SP2 (305.08) na profundidade 0-5 cm. Não houve diferença significativa na profundidade de 5-10 cm (Figura 5).

Discussão

Produtividade e características morfológicas do capim-buffel

A avaliação da produtividade e da qualidade das forrageiras disponíveis é imprescindível para qualquer sistema de produção de ruminantes, pois auxilia nas tomadas de decisão e no estabelecimento de metas de pastejo (Silva et al., 2020). Neste estudo foi observada a influência do eucalipto nos sistemas de integração avaliados, uma vez que houve aumento de massa verde com o distanciamento das linhas das árvores (Tabela 1). Além disso, a proximidade das linhas de eucalipto (2 e 4 m) acarretou na redução do desenvolvimento das plantas devido ao sombreamento exercido pela espécie florestal. Gómez et al. (2013) reportaram que o crescimento da forragem associado com espécies florestais pode ser prejudicado ou favorecido, dependendo de fatores como tolerância ao sombreamento das árvores e competição entre as plantas por água e nutrientes do solo.

A produtividade do capim-buffel obtida no presente estudo (Tabela 1) no SP2 foi inferior aquela encontrada por Porto et al. (2017) em cultivares da forrageira cultivadas em monocultivo e avaliadas em diferentes estações do ano (1.260,25 kg de MS ha⁻¹), indicando que há uma diminuição de produtividade quando a gramínea está consorciada em sistema integrado de produção. Porém, em SP1, a produtividade na distâncias de 6 m (1143.90 kg de MS ha⁻¹) foi próxima e na distância de 8 m (3290,75 kg de MS ha⁻¹) foi superior aos dados encontrados por Porto et al. (2017). O sombreamento excessivo das forrageiras, em alguns casos, pode prejudicar o seu desenvolvimento, já que dificulta a chegada de luz na área foliar, diminuindo a capacidade fotossintética e, conseqüentemente, a produtividade (Nascimento et al., 2019). A presença de árvores nas pastagens proporciona sombreamento do dossel das plantas forrageiras as quais podem mudar sua estrutura e concentração nutricional, bem como reduzir a produção de massa de forragem (Paciullo et al., 2007), como foi observado valores crescentes de radiação fotossinteticamente ativa à medida que se afasta das linhas de eucalipto. Porém, no SP2 o feijão-guandu intensificou essa competição apresentado baixos valores de MS.

À medida em que se distanciou da linha de eucalipto, houve uma diminuição do efeito do sombreamento devido ao afastamento da área de projeção da copa da árvore, contribuindo para a expressão morfológica das plantas de capim-buffel (Figura 3). Dias-Filho (2000) estudou as gramíneas *Brachiaria brizantha* cv. Marandu e *Brachiaria humidicola*, e afirmou que, de fato, sob sombreamento contínuo, as plantas foram capazes de promover ajustes fenotípicos, que parcialmente compensaram a capacidade de crescimento sob estresse de luz. Nesse sentido, a porcentagem de folhas foi maior nas proximidades das árvores, enquanto a porcentagem de colmos foi maior nos locais mais distantes das árvores. Isso evidencia que a proximidade das árvores pode ter influenciado o avanço do desenvolvimento das plantas que se mantiveram em estágio menos avançado com porcentagem de folhas maior. Já na avaliação entre os sistemas, a porcentagem de folhas foi menor no SP2 em decorrência de proporções de colmo e material morto mais altas. Isso pode ser indicativo de que o nível de sombreamento no SP2 foi maior e levou ao maior alongamento das plantas como forma de

compensarem o elevado sombreamento.

A altura do dossel do capim-buffel no sistema SP2 (Tabela 1) não foi influenciada pelas distâncias do componente arbóreo, indicando que a competitividade por água, luz e nutrientes foi ampliada no cultivo integrado com feijão-guandu e eucalipto. Esse resultado confirma a redução das folhas ocorrida no SP2. Um sombreamento mais intenso diminui e divide a produção e distribuição de fotoassimilados, que pode afetar a altura de dossel da pastagem (Pezzopane et al., 2019). Na área sob as copas das árvores, o crescimento das gramíneas pode ser limitado tanto pela luminosidade quanto pela competição por água entre os componentes (Carvalho et al., 2002). Já no sistema silvipastoril, a altura do dossel foi maior nas distâncias de 6 e 8m do eucalipto (Tabela 1), indicando que a maior incidência luminosa teve efeito positivo no crescimento da forrageira.

A massa de raízes do capim-buffel, mesmo não apresentando grandes variações entre os sistemas avaliados (Tabela 1), apresentou efeito positivo nos resultados obtidos para massa verde, pois as raízes são responsáveis pela nutrição da planta. A formação de um sistema radicular vigoroso é fundamental para que as plantas possam suportar situações de estresse, como invernos rigorosos, verões secos e a pressão de pastejo (Cunha et al., 2010). De acordo com Silva et al. (2002), os estudos relacionados ao sistema radicular de plantas forrageiras tropicais são pouco conclusivos devido ao grau elevado de variação entre os dados, gerando um alto coeficiente de variação.

Atributos microbiológicos do solo

A concentração das raízes das gramíneas nas camadas superficiais, a serrapilheira depositada pelos componentes forrageiro e florestal e a renovação constante do sistema radicular do capim-buffel justifica os maiores valores de Cmic encontrados próximo as árvores do eucalipto (distância de 2 m) (Figura 4). Isso indica que os nutrientes ficam imobilizados e resultam em menores perdas no sistema solo-planta (Roscoe et al., 2006). Segundo Ferreira et al. (2017), os atributos microbiológicos e os indicadores de qualidade de solo são afetados pelo sistema em que estão inseridos, as características dos resíduos vegetais e as intervenções antrópicas. Lazzaretti et al., (2020) obteve em seu trabalho 410,57 mg Cmic kg⁻¹ de solo em mata nativa, valor esse similar ao encontrado no presente estudo no sistema SP e nas profundidades 5-10 cm e 10-20 cm (Figura 4).

Diferenças nos valores de Nmic foram observados somente na profundidade de 5-10 cm para as diferentes distâncias do componente arbóreo (Figura 5). O sistema SP2 é composto pela espécie leguminosa feijão-guandu, que favoreceu a fixação biológica de nitrogênio em relação ao sistema SP1, que promove um suprimento de nitrogênio no solo, temporariamente imobilizado por meio da fixação biológica (Oliveira et al., 2011). Lanna et al. (2010) relataram que a maior atividade de urease no solo pode estar também relacionada ao sistema radicular das plantas presentes e a sua rizodeposição de exsudados no solo. Figueiredo et al. (2007) observaram que o manejo do solo interferiu diretamente no acúmulo de Nmic, aumentando os valores quando adotaram práticas conservacionistas.

A atividade da enzima β -glicosidade foi maior no sistema silvipastoril na distância de 2m do eucalipto para as duas profundidades avaliadas (Tabela 2). A enzima β -glicosidade faz parte do ciclo do carbono, catalisando a hidrólise nos compostos orgânicos, principalmente da celulose para ocorrer a liberação de glicose (Khan et al., 2019; Jain et al., 2016; Wang et al., 2018), correspondendo assim aos

valores observados nas distâncias próximas da linha do componente arbóreo, relacionado à constante deposição de serapilheira e material orgânico do eucalipto na área.

A atividade da enzima urease foi menor na distância de 8m do eucalipto para as duas profundidades avaliadas, e maior no sistema silvipastoril para a profundidade de 0-5 cm (Figura 6). Além do maior distanciamento da linha de eucalipto contribuir com a menor proporção de matéria orgânica disponível sobre a camada superficial do solo, a baixa resposta da atividade enzimática observada, de acordo com Bustamante et al. (2012), pode ser explicada porque a quantidade de nitrogênio mineralizado depende da quantidade de leguminosas e do período em que estão presente na área. Longo; Melo (2005) determinaram que o tipo de cobertura vegetal alterou a atividade enzimática da urease, com tendência a ser maior em culturas perenes não manejadas. O aumento da diversidade dos microrganismos heterotróficos presentes no solo contribuem com a amplificação da atividade enzimática envolvida na decomposição da matéria orgânica (Lanna et al., 2010)

Conclusões

O desempenho produtivo do capim-buffel foi melhor no sistema silvipastoril com dois componentes (SP1), porém a maior diversificação de espécies no sistema SP2 contribuiu para melhoria dos atributos biológicos do solo.

O sombreamento e a intensificação do uso do solo com eucalipto, capim-buffel e feijão-guandu diminuiu a capacidade produtiva da gramínea, podendo a leguminosa ser indicada quando for utilizada como complemento protéico na alimentação animal.

Referências

- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Gonçalves, J. D. M., & Sparovek, G. 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6), 711-728. <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- Bustamante, M. M. D. C., Nardoto, G. B., Pinto, A. D. S., Resende, J. C. F., Takahashi, F. S. C., & Vieira, L. C. G. 2012. Potential impacts of climate change on biogeochemical functioning of Cerrado ecosystems. *Brazilian Journal of Biology*, 72(3), 655-671. <http://dx.doi.org/10.1590/S1519-69842012000400005>.
- Carvalho, M. M., Freitas, V. D. P., & Xavier, D. F. 2002. Initial flowering, dry matter yield and nutritive value of tropical forage grasses under natural shading. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 37(5), 717-722. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2002000500018>.
- Cunha, F. F. D., Ramos, M. M., Alencar, C. A. B. D., Martins, C. E., Cóser, A. C., & Oliveira, R. A. D. 2010. Sistema radicular de seis gramíneas irrigadas em diferentes adubações nitrogenadas e manejos. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 32(2), 351-357. <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v32i2.1020>.
- Dias-Filho, Moacyr Bernardino. Growth and biomass allocation of the C4 grasses *Brachiaria brizantha* and *B. humidicola* under shade. *Pesquisa agropecuária brasileira*, Brasília, v. 35, n. 12, p. 2335-2341, Dec. 2000. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2000001200003>.
- Edvan, R. L., Santos, E., Da Silva, D., De Andrade, A. P., Costa, R. G., & Vasconcelos, W. A. 2011. Características de produção do capim-buffel submetido a intensidades e frequências de corte. *Archivos de zootecnia*, 60(232), 1281-1289. <http://dx.doi.org/10.4321/S0004-05922011000400043>.

- Gomes, F.J., Pedreira, C.G.S., Bosi, C., Cavalli, J., Holschuch, S.G., Mourão, G.B., Pereira, D.H., & Pedreira, B.C. 2019, Shading Effects on Marandu Palisadegrass in a Silvopastoral System: Plant Morphological and Physiological Responses. *Agron. J.*, 111: 2332-2340. <https://doi.org/10.2134/agronj2019.01.0052>
- Gómez, S., Guenni, O., & Bravo de Guenni, L. 2013. Growth, leaf photosynthesis and canopy light use efficiency under differing irradiance and soil N supplies in the forage grass *B. rachiariadecumbens* Stapf. *Grass and Forage Science*, 68(3), 395-407. <https://doi.org/10.1111/gfs.12002>.
- Jain, S., Mishra, D., Khare, P., Yadav, V., Deshmukh, Y., & Meena, A. 2016. Impact of biochar amendment on enzymatic resilience properties of mine spoils. *Science of the Total Environment*, 544, 410-421. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.11.011>.
- Kandeler, E., Gerber, H., 1988. Short-term assay of soil urease activity using colorimetric determination of ammonium. *Biol. Fertil. Soils* 6, 68–72. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00257924>.
- Keeney, D. R., & Nelson, D. W. 1983. Nitrogen—inorganic forms. *Methods of soil analysis: Part 2 chemical and microbiological properties*, 9, 643-698. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c33>.
- Khan, M. N., Lan, Z., Sial, T. A.; Zhao, Y., Haseeb, A., Jianguo, Z., Zhang A., & Hill, R. L. 2019. Straw and biochar effects on soil properties and tomato seedling growth under different moisture levels. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 65(12), 1704-1719. <https://doi.org/10.1080/03650340.2019.1575510>.
- Lanna, A. C., Silveira, P. M. S., Mozaniel Batista, F., Tatiana, M., & Kliemann, H. J. 2010. Atividade de urease no solo com feijoeiro influenciada pela cobertura vegetal e sistemas de plantio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34(6), 1933-1939. <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000600018>.
- Longo, R. M., & Melo, W. J. 2005. Atividade da urease em latossolos sob influência da cobertura vegetal e da época de amostragem. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29(4), 645-650. <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832005000400017>.
- Lazzaretti, G., Matsuoka, M., Bettio, I., Paveglio, S., Shalleberger, J., & Somavilla, L. (2020). Impacto de diferentes sistemas agrícolas e florestal na qualidade química e biológica do solo de uma propriedade rural. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, 8(4), 330-350. doi:<http://dx.doi.org/10.19177/rgsa.v8e42019330-350>.
- Mendes, I. D. C., Cunha, M. H., dos Reis Junior, F. B., Fernandes, M. F., Chaer, G. M., Mercante, F. M., & Zilli, J. E. 2009. Bioindicadores para avaliação da qualidade dos solos tropicais: utopia ou realidade?. *Embrapa Cerrados-Documentos (INFOTECA-E)*. Disponível em <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/661591>> Acessado em 29 de março, 2021.
- Mulvaney, B. J., Page, A. L., 1982. Nitrogen-total. *Methods of soil analysis: Part 2*, 595-624.
- Nascimento, H. L. B., Pedreira, B. C., Sollenberger, L. E., Pereira, D. H., Magalhães, C. D. S., & Chizzotti, F. H. M. 2019. Physiological characteristics and forage accumulation of grazed Marandu palisade grass (*Brachiariabrizantha*) growing in monoculture and in silvopasture with *Eucalyptus urograndis*. *Crop and Pasture Science*, 70(4), 384-394. <https://doi.org/10.1071/CP18403>.
- Oliveira, P. D., Kluthcouski, J., Favarin, J. L., & Santos, D. D. C. 2011. Consórcio de milho com braquiária e guandu-anão em sistema de dessecação parcial. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 46(10), 1184-1192. doi: 10.1590/S0100- 204X2011001000010.
- Paciullo, D. S. C., Carvalho, C. A. B. D., Aroeira, L. J. M., Morenz, M. J. F., Lopes, F. C. F., & Rossiello, R. O. P. 2007. Morfofisiologia e valor nutritivo do capim-braquiária sob sombreamento natural e a sol pleno. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 42(4), 573-579. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100- 204X2007000400016>.
- Pelissaro, H., Zanella, M., Santos, S., Cardoso, E., & Brasil, M. 2020. Atributos microbiológicos do solo como indicadores de conservação das pastagens nativas do Pantanal. *Embrapa Pantanal-Capítulo em livro científico (ALICE)*. 1-13. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/961293>> Acessado dia 15 de junho, 2021.

Pezzopane, J. R. M., Bernardi, A. C. C., Bosi, C., Oliveira, P. P. A., Marconato, M. H., de Faria Pedrosa, A., & Esteves, S. N. 2019. Forage productivity and nutritive value during pasture renovation in integrated systems. *Agroforestry Systems*, 93(1), 39-49. <https://doi.org/10.1007/s10457-017-0149-7>.

Porto, E. M. V., Alves, D. D., Vitor, C. M. T., Silva, M. F., Magalhães, C. G., Souza David, A. M. S., Gomes, V. M., & Brant, C. J. 2017. Produção de biomassa de cultivares do capim buffel submetidos à adubação nitrogenada. *Unimontes Científica*, 19(1), 122-129. Disponível em < Produção de biomassa de cultivares do capim buffel submetidos à adubação nitrogenada | Porto | Unimontes Científica>. Acessado em 28 de março, 2021.

Ribeiro, J. M., Frazão, L. A., Cardoso, P. H. S., Oliveira, A. L. G., Sampaio, R. A., & Fernandes, L. A. (2019). Fertilidade do solo e estoques de carbono e nitrogênio sob sistemas agroflorestais no Cerrado Mineiro. *Ciência Florestal*, 29(2), 913-923. <https://doi.org/10.19084/rca.15433>.

Silva, A., Corsi, M., & Imhoff, S. 2002. Soil compaction versus cow-stocking rates on an irrigated grazing system. *Advances in Geoecology*, 35(3), 397-406.

Silva, D. A. M., Pereira, G. F., Emerenciano Neto, J. V., Santos, R. S., Gracindo, A. P. A. C., Gurgel, A. L. C., Gut, G. A. P., Bezerra, M. G. S. 2020. Responses of buffel grass to different regrowth periods and residue heights. *Research, Society and Development*, [S. I.], 9, 11. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i11.9914>.

Silva, E. E., Azevedo, P. H. S., & De-Polli, H. (2007). Determinação do carbono da biomassa microbiana do solo (BMS-C). Embrapa Agrobiologia-Comunicado Técnico (INFOTECA-E). Disponível em < <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/625010>>. Acessado em 18 de março de 2021. Tedesco, M. J., Gianello, C., Bissani, C. A., Bohnen, H., & Volkweiss, S. J. (1995). Análises de solo, plantas e outros materiais (Vol. 174). Porto Alegre: Ufrgs.

Vance, E. D., Brookes, P. C., & Jenkinson, D. S. 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil biology and Biochemistry*, 19(6), 703-707. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(87\)90052-6](https://doi.org/10.1016/0038-0717(87)90052-6).

Trannin, I. C. D. B., Siqueira, J. O., & Moreira, F. M. D. S. 2007. Características biológicas do solo indicadoras de qualidade após dois anos de aplicação de bio-sólido industrial e cultivo de milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 31(5), 1173-1184. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000500032>.

Wang, Y., Xu, Y., Li, D., Tang, B., Man, S., Jia, Y., & Xu, H. 2018. Vermicompost and biochar as bio-conditioners to immobilize heavy metal and improve soil fertility on cadmium contaminated soil under acid rain stress. *Science of the Total Environment*, 621, 1057-1065.

TABELAS

TABELA 1 – Parâmetros de crescimento e desenvolvimento radicular do capim-buffel cultivado em sistemas silvipastoris, considerando diferentes distâncias do componente arbóreo

Distância (m)	Altura do dossel (cm)		Massa seca (Kg.ha ⁻¹)		Massa de raízes (g)	
	SP1	SP2	SP1	SP2	SP1	SP2
2	35.55 Ab	31.25 Aa	357.45 Ab	166.35 Aa	15.69 Ab	15.98 Aa
4	36.80 Ab	32.70 Aa	455.50 Ab	151.85 Aa	14.39 Ab	15.89 Aa
6	56.90 Aa	30.60 Ba	1143.90 Ab	190.65 Ba	20.14 Ab	12.27 Ba
8	63.00 Aa	26.55 Ba	3290.75 Aa	379.75 Ba	39.25 Aa	14.37 Ba

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na linha e letras minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0.05$).

TABELA 2 – Atividade da enzima β -glucosidase (mg de p-nitrofenol kg⁻¹ de solo) em sistemas silvipastoris, considerando diferentes distâncias do componente arbóreo

Distância (m)	SP1	SP2
Profundidade 0-5 cm		
2	34.00 Aa	17.88 Bb
4	20.49 Ab	27.12 Aab
6	24.48 Bb	33.90 Aa
8	25.09 Aab	18.59 Ab
Profundidade 5-10 cm		
2	23.81 Aa	24.11 Aa
4	19.37 Aab	18.01 Aa
6	13.81 Bbc	22.72 Aa
8	10.90 Bc	23.54 Aa

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na linha e letras minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0.05$).

LEGENDAS DAS FIGURAS

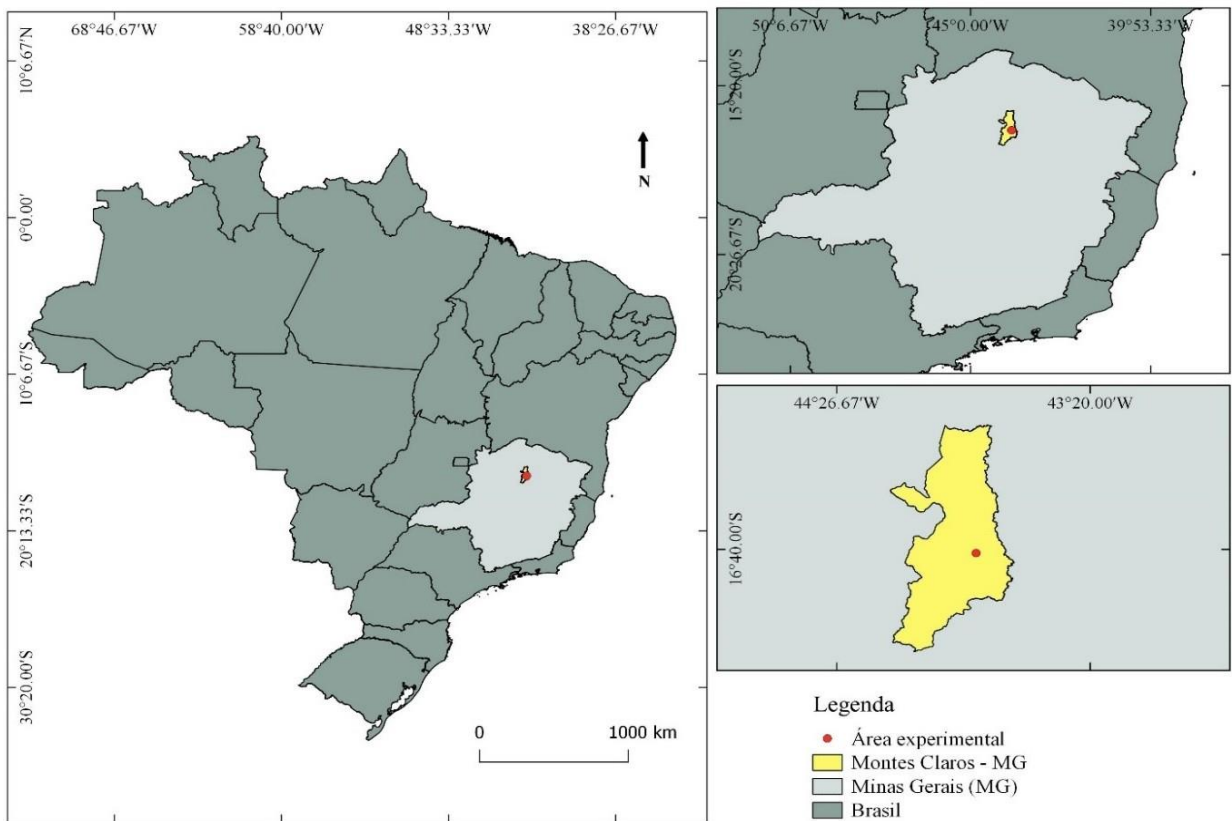


FIGURA 1 – Mapa de localização da área de estudo no município de Monte Claros, estado de Minas Gerais, Brasil

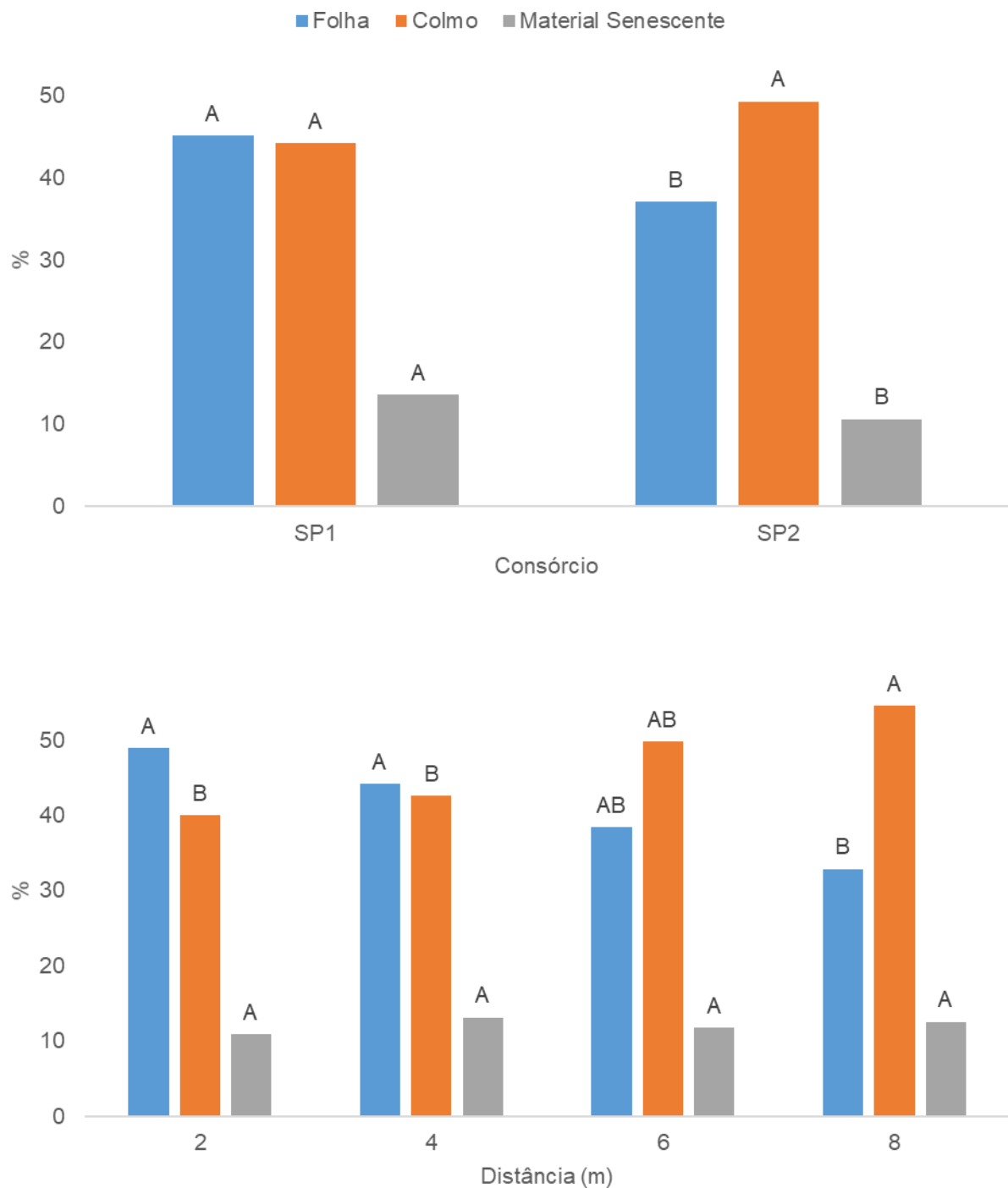


FIGURA 2 – Composição morfológica de capim-buffel cultivado em sistemas silvipastoris considerando as diferentes distâncias de avaliação do componente florestal

Em cada gráfico, letras semelhantes para a mesma variável não apresentam diferença estatística entre si pelo teste Tukey ($p < 0.05$).

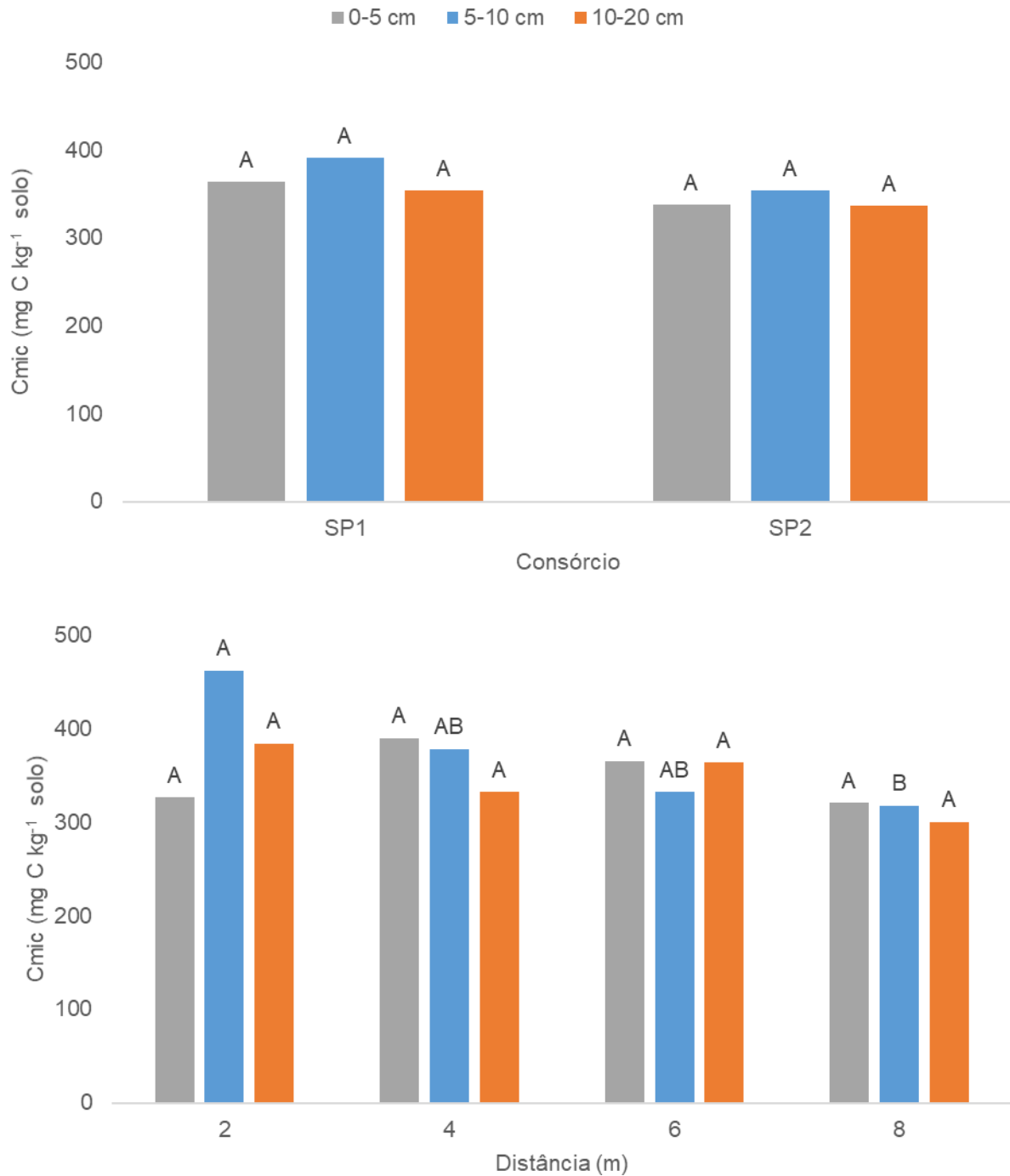


FIGURA 3 – Carbono microbiano do solo (Cmic) em sistemas silvipastoris até 20 cm de profundidade, considerando diferentes distâncias do componente florestal

Em cada gráfico, letras semelhantes para a mesma profundidade não apresentam diferença entre si pelo teste Tukey ($p < 0.05$).

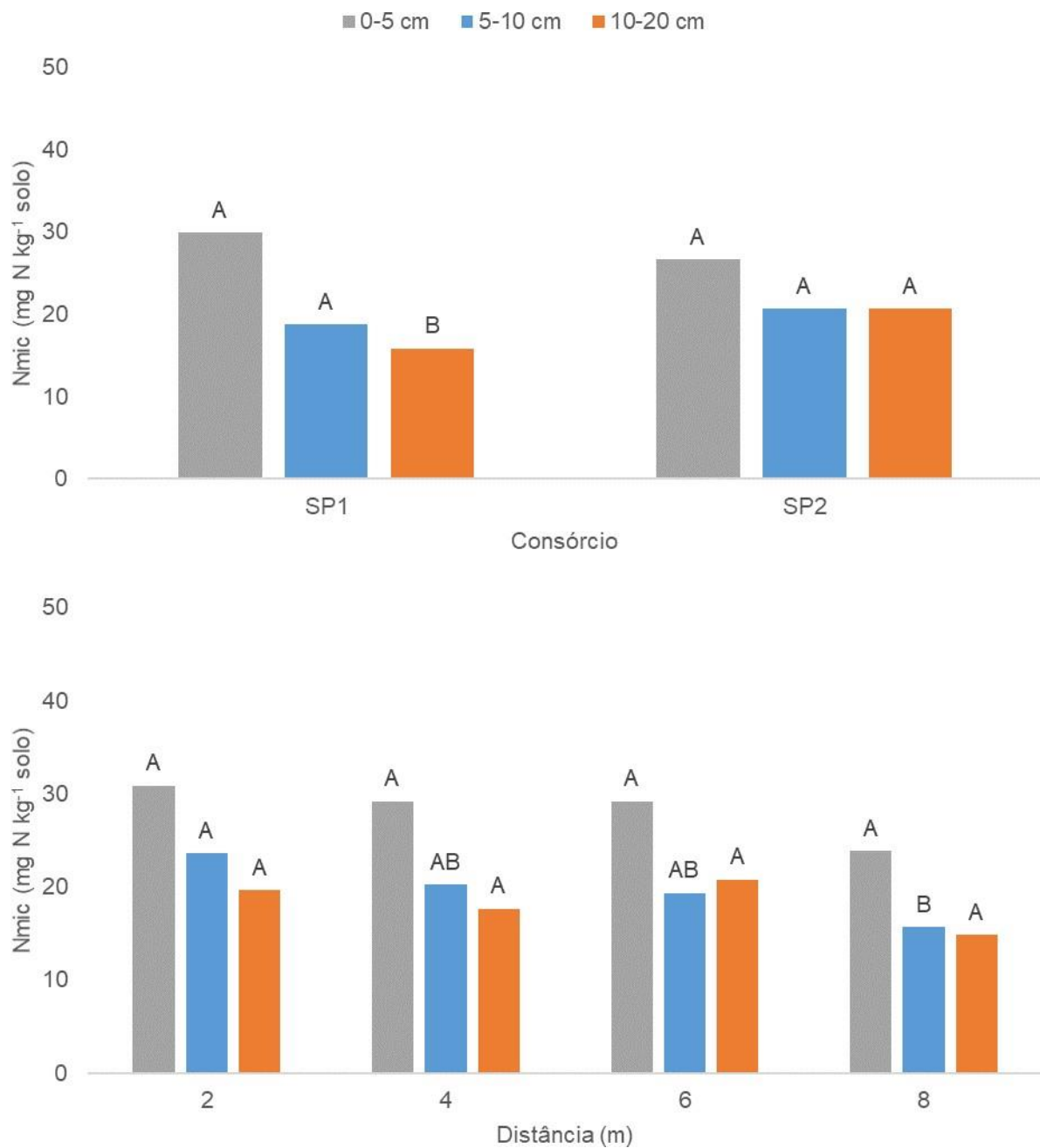


FIGURA 4 – Nitrogênio microbiano do solo (Nmic) em sistemas silvipastoris até 20 cm de profundidade, considerando diferentes distâncias do componente florestal

Em cada gráfico, letras semelhantes para a mesma profundidade não apresentam diferença entre si pelo teste Tukey ($p < 0.05$).

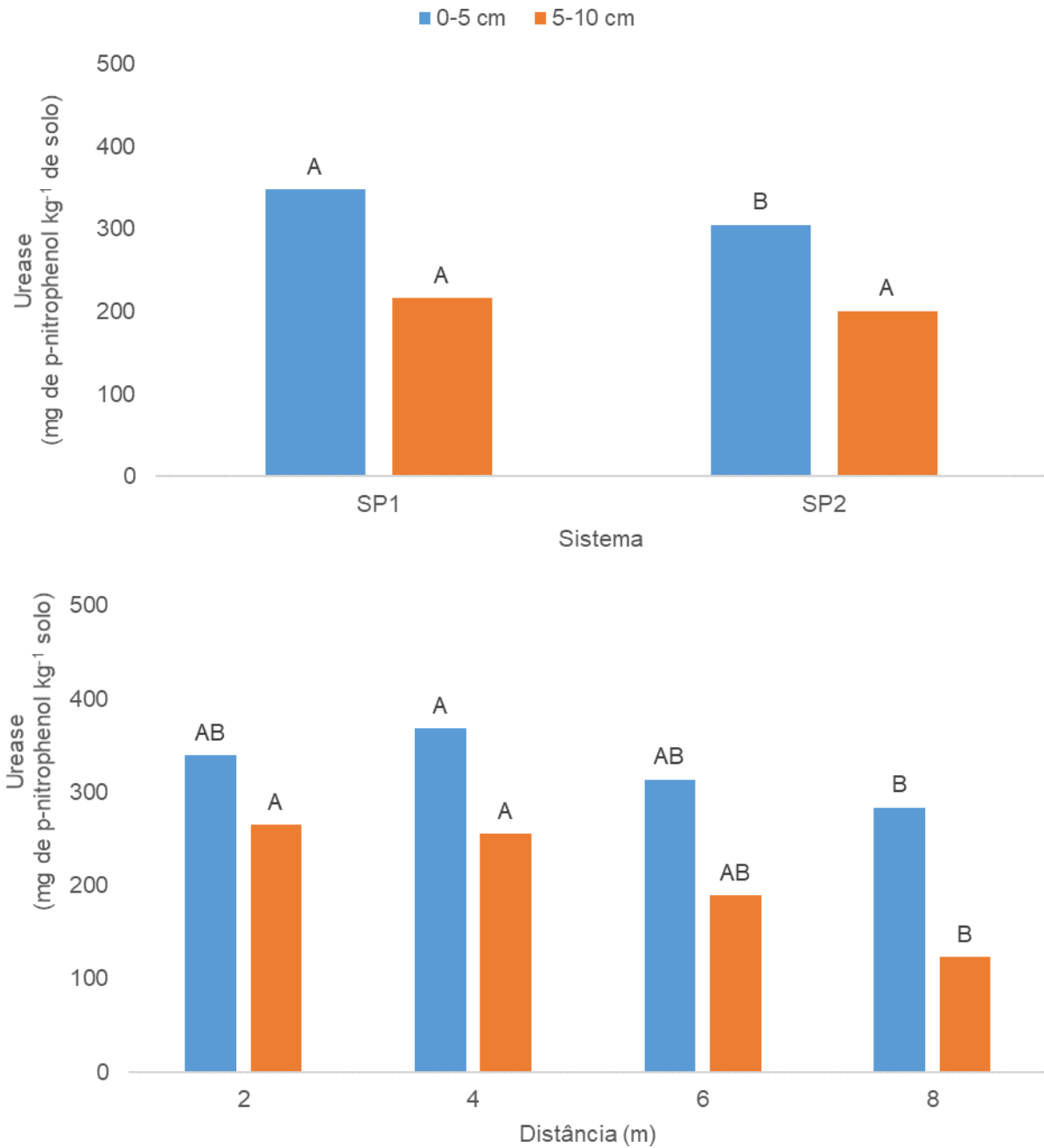


FIGURA 5 – Atividade da enzima urease (mg de p-nitrofenol kg⁻¹ de solo) em sistemas silvipastoris considerando diferentes distâncias do componente arbóreo

Em cada gráfico, letras semelhantes para a mesma profundidade não apresentam diferença entre si pelo teste Tukey ($p < 0.05$).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estudos sobre produção de capim-buffel em sistemas integrados de produção ainda são incipientes, e estudos complementares são necessários para melhor compreensão sobre as técnicas de manejo que tornem a utilização dessa espécie forrageira viável dentro de um sistema produtivo e sustentável. Assim, os resultados deste estudo poderão subsidiar trabalhos futuros com diferentes arranjos e componentes em sistemas integrados de produção.