

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
ESCOLA DE VETERINÁRIA  
Colegiado dos Cursos de Pós-Graduação em Zootecnia

**Produtividade e Valor nutritivo de *Urochloa brizantha* cv. Piatã e  
Qualidade do Solo em Sistemas Silvopastoris na Região Central de Minas  
Gerais**

ELWIRA DAPHINN SILVA MOREIRA

Belo Horizonte  
Escola de Veterinária - UFMG  
2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
ESCOLA DE VETERINÁRIA  
Colegiado dos Cursos de Pós-Graduação em Zootecnia

**Elwira Daphinn Silva Moreira**

**Produtividade e Valor nutritivo de *Urochloa brizantha* cv. Piatã e  
Qualidade do Solo em Sistemas Silvopastoris na Região Central de Minas  
Gerais**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em  
Zootecnia da Escola de Veterinária da Universidade  
Federal de Minas Gerais como requisito parcial para  
Obtenção do grau de Doutora em Zootecnia  
Área de concentração: Produção Animal  
Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Ângela Maria Quintão Lana  
Co-orientador: Dr. Miguel Marques Gontijo Neto  
Co-orientador: Prof. Lúcio Carlos Gonçalves

Belo Horizonte  
Escola de Veterinária da UFMG  
2018

M838p Moreira, Elwira Daphinn Silva, 1987-  
Produtividade e valor nutritivo de *Urochloa brizantha* cv. *Piatã* e Qualidade de Solo em Sistemas Silvopastoris na Região Central de Minas Gerais / Elwira Daphinn Silva Moreira. – 2018.  
135 f. : il.

Orientadora: Ângela Maria Quintão Lana  
Co-orientadores: Miguel Marques Gontijo Neto, Lúcio Carlos Gonçalves  
Tese (doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Veterinária  
Inclui bibliografia

1. Plantas forrageiras – Solos – Teses. 2. Solos – Qualidade – Teses.  
3. Agrossilvicultura – Teses. 4. Solos – Teor de carbono – Teses. 5. Valor nutricional – Teses. I. Lana, Ângela Maria Quintão. II. Gontijo Neto, Miguel Marques.  
III. Gonçalves, Lúcio Carlos. IV. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Veterinária. V. Título.

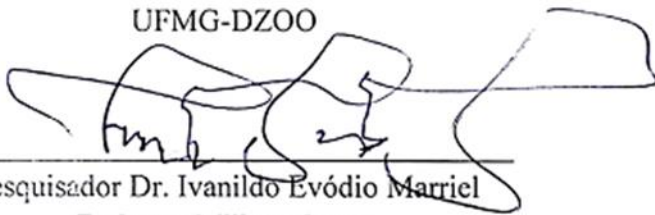
CDD – 633.2

TESE defendida e aprovada em 27 de fevereiro de 2018, pela Comissão Examinadora composta pelos seguintes membros:

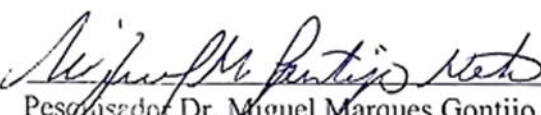
  
\_\_\_\_\_  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup>. Orientadora Angela Maria Quintão Lana  
UFMG-DZOO

  
\_\_\_\_\_  
Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Adriana Monteiro da Costa  
UFMG-DGEO

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Diogo Gonzaga Jayme  
UFMG-DZOO

  
\_\_\_\_\_  
Pesquisador Dr. Ivanildo Evódio Marriel  
Embrapa Milho e Sorgo

  
\_\_\_\_\_  
Pesquisadora Dr.<sup>a</sup>. Maria Celuta Machado Viana  
Epamig

  
\_\_\_\_\_  
Pesquisador Dr. Miguel Marques Gontijo Neto  
Embrapa Milho e Sorgo

**DEDICO**

*Ao meu Deus, toda honra e toda glória;  
À minha doce filha Júlia Alice, a quem aprendi  
a pensar e amar incondicionalmente;  
À minha mãe Ewania, por todo apoio, amor e  
orações em cada passo dado;  
Ao meu pai Ismael um homem de carácter,  
humilde e exemplo.  
...cheguei onde estou por vocês e farei de tudo  
para retribuir a altura...*

*Cada pessoa na vida escolhe seu caminho. Os vencedores escolhem o caminho estreito, o mais difícil; gostam de desafios; não fogem à luta e são apaixonados pelo que fazem.*

*Vencer é o nosso destino*

*Deus nos fez assim.*

*(Adelino de Carvalho)*

## AGRADECIMENTOS

Ao subir no último degrau de mais essa etapa, agradeço de coração a Deus e a todos os familiares e amigos que participaram dessa trajetória de aprimoramento e desenvolvimento pessoal e intelectual. Não foi fácil, mas, sinceramente também não foi exequível. Afinal, para toda valiosa recompensa é necessário sacrifício.

A Deus, por ter me concedido o dom da vida e por permitir almejar este objetivo, por toda força e fé dada para eu vivenciar essa etapa, por estar presente em cada momento da minha vida e ser fonte de resiliência para prosseguir no caminho traçado por Ele e pelas oportunidades e pessoas convidadas.

Aos meus pais, Ismael e Ewania, que além de manifestarem orgulho com minhas vitórias estão sempre presentes me auxiliando a alcançá-las, grata por se dedicarem tanto a mim e meus irmãos, primarem pela nossa educação, por não pouparem ensinamentos, conselhos e principalmente amor, sendo minhas referências e exemplo a seguir. Sobretudo, grata pelo amor e cuidados para com nossa filha.

Aos meus irmãos Ilanna Thandyara, Stephanie Jhanyne, Ismalley Petherson e Jhenifer Nicole por me amar, apoiar e compreender minhas faltas. A todos os meus familiares pela torcida, boas vibrações e orações.

À minha princesinha Júlia Alice, que na sua pura inocência me motivou a correr atrás dos nossos ideais e fez doces esses quatro anos de sua idade e também quatro anos de duração do doutorado. Obrigada filha, por renovar minhas forças com o seu sorriso meigo, pela sua candura, carinho, amor e compreensão ao entender minha ausência física pelas necessárias viagens e por sentir que nossa ligação emocional é superior aos obstáculos. Pelo aconchego de seus bracinhos e por ser tão amável, inteligente e obediente! Te amo, Vida!

Ao meu esposo André pelo imensurável amor, compreensão e incentivo ao longo do curso e por todos os momentos de descontração e alegria que se esforça a nos proporcionar. Agradeço a sua família pelo carinho e cuidados despendidos a nós, e em especial a Júlia.

À minha orientadora Dr<sup>a</sup>. Ângela Maria Quintão Lana, exemplo de profissionalismo, dedicação e sucesso. Obrigada por todos os ensinamentos acadêmicos, profissionais e de vivência, por ter acreditado na minha competência e determinação e pelos momentos que abriu as portas do seu lar para me acolher.

Ao meu co-orientador pesquisador Dr. Miguel M. Gontijo, responsável da área de estudo na Embrapa Milho e Sorgo, pelas valiosas informações e trabalho dedicado na pesquisa. Obrigada pelas suas preciosas colaborações e críticas construtivas e por sempre estar solícito a esclarecer dúvidas.

Ao pesquisador Dr. Ivanildo E. Marriel, pela orientação não só no aspecto microbiológico, mas pelas boas conversas e confiança. Pela dedicação, acolhimento e amizade, que fez os dias de trabalho árduo ser mais agradáveis em Sete Lagoas, MG.

Ao Dr. Thomaz Costa pelo incentivo e aos demais pesquisadores da Embrapa Milho e Sorgo, que tive o prazer de conhecer.

À Embrapa Milho e Sorgo e a toda sua equipe pelo auxílio, pela infraestrutura e apoio na condução experimental, em especial ao suporte dos funcionários Sérgio, Léo, Dilherme, Enedir, Muci, Joaquim, Flávio, Clóvis, Jean e Ubiraci, dentre outros.

Aos estagiários da Embrapa Jaíne, Izabelle, Denise, Bianca, Clara, Joice, João Carlos, Maycon, Júlia e Amanda e a todos os amigos dos Laboratórios (Microbiologia e Bioquímica do Solo, Núcleo de Biologia Aplicada e Solos) pelo auxílio nas análises e troca de conhecimentos. Ao Gabriel, Eduardo e Adriano pela cooperação nas coletas de dados.

Aos familiares de Belo Horizonte, MG, que sempre abriram às portas quando precisei muito obrigada pelo amparo, amor e cuidado.

À Geralda e família em Sete Lagoas, muitíssimo obrigada por mesmo sem me conhecer inteiramente me acolheu e hospedou tão bem e tão calorosamente, os levarei por toda vida em meu coração.

Ao Danúbio, Alan, Saulo e aos amigos das caronas que a estrada me apresentou sou grata pelas conversas e risos que atenuaram as dificuldades da estrada.

Ao co-orientador Dr. Lúcio Gonçalves e docentes do departamento Zootecnia EV/UFMG obrigada pelos ensinamentos e auxílio científico.

A toda UFMG que, através de seu corpo docente, discente e funcionários, me possibilitou o acesso a muitas oportunidades de conhecimento e de engrandecimento pessoal. Em especial, aos docentes e eternos amigos do ICA/UFMG Dr. Luiz Arnaldo Fernandes, obrigada pela confiança no meu intelecto e determinação, por todo incentivo e principalmente pela amizade que construímos. Aos queridos Álvaro Veloso, Flávio Gonçalves e Flávio Pimenta pela amizade que permanece e conselhos cedidos.

Aos demais componentes da banca avaliadora, pesquisadora da Epamig Dr<sup>a</sup>. Maria Celuta Viana e os professores da UFMG, Dr<sup>a</sup>. Adriana e Dr. Diogo, pelas valiosas contribuições com suas apreciações e comentários a este trabalho.

A meus amigos Aline, Marcelo, prima Carol, vizinha Josi, tia Josy, Suerlaine, Eliane (Bê) muito obrigada por estarem sempre presente em minha vida e com uma palavra amiga. Obrigada por torcer por mim, por vibrar comigo e por toda a paciência mesmo diante da minha ausência, distância e falta de tempo. Que nossa amizade seja para sempre!

Aos meus colegas de pós-graduação Wanderson, Tania, Kat, Zé André, Luiz, Luiza e integrantes do grupo de pesquisa GPAS e Nepper pelas amizades e por todos os momentos valiosos que desfrutamos. Em especial, ressalto meu caro amigo Dr. Claudinei, por toda boa conversa, carisma, vivências e contribuições. Você foi companheiro em horas boas e difíceis do curso mesmo quando distante geograficamente se fez presente nas parcerias e anseios do doutorado.

Espero poder colaborar com a nossa sociedade, na mesma proporção em que todos vocês colaboraram para com a minha formação pessoal e profissional. Obrigada pelo carinho e respeito de sempre e pelos laços de amizade estabelecidos e consolidados.

**Muito Obrigada!**



## SUMÁRIO

	Página
<b>INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	19
<b>CAPÍTULO 1 - REVISÃO DE LITERATURA</b>	
1.1 Sistemas silvipastoril: Definição e benefícios.....	21
1.2 A <i>Urochloa brizantha</i> cv. Piatã nos sistemas integrados.....	22
1.3 Efeito do sombreamento sobre produção e qualidade de forrageiras no sub-bosque.....	25
1.4 Estoque de carbono em sistemas integrados.....	29
1.5 Indicadores biológicos da qualidade do solo em sistemas integrados.....	32
1.5.1 Atividade enzimática da comunidade microbiana do solo.....	33
1.5.2 Respiração basal do solo.....	34
1.5.3 Diversidade metabólica da microbiota do solo.....	35
1.5.4 Diversidade genética da microbiota do solo.....	36
1.6 Referências.....	38
<b>CAPÍTULO 2 - RADIAÇÃO FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA, PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DA <i>Urochloa brizantha</i> cv. Piatã EM SISTEMA SILVIPASTORIL NA REGIÃO CENTRAL DE MINAS GERAIS</b>	
Resumo .....	51
2.2 Introdução.....	52
2.3 Material e métodos.....	53
2.4 Resultados e discussão.....	58
2.5 Conclusões.....	76
2.6 Referências.....	77
<b>CAPÍTULO 3 - ESTOQUE DE CARBONO NO SOLO SOB SISTEMA SILVIPASTORIL, PASTAGEM EM MONOCULTIVO E VEGETAÇÃO DE FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL</b>	
Resumo.....	82
3.2 Introdução.....	82
3.3 Material e métodos.....	84
3.4 Resultados e discussão.....	88
3.5 Conclusões.....	97
3.6 Referências.....	97
<b>CAPÍTULO 4 - ALTERAÇÕES NA QUALIDADE BIOLÓGICA DO SOLO EM SISTEMAS SILVIPASTORIS NA REGIÃO CENTRAL DE MINAS GERAIS</b>	
Resumo.....	103
4.1- Introdução.....	104
4.2- Material e métodos.....	105
4.3- Resultados e discussão.....	111
4.4- Conclusões.....	123
4.5- Referências.....	123
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	132

---

## LISTA DE ABREVIATURAS

---

ABC	Agricultura de Baixa Emissão de Carbono
AP	altura da folha bandeira
AR	arginase
árv. ha <sup>-1</sup>	árvore por hectare
AT	Atividade total
AWCD	índice de desenvolvimento de cor
BDA	batata-dextrose-ágar
BFOR	biomassa de forragem disponível
C	Carbono
C/N	Relação carbono e nitrogênio
Ca	Cálcio
CBM	C da biomassa microbiana
CEL	Conteúdo de celulose
CER	Cerrado
CIAT	Centro Internacional de Agricultura Tropical
CLFS	Crop-livestock-forest integration system
CLPS	Crop-livestock- forest
COT	Carbono orgânico total
CO <sub>2</sub> eq	Dióxido de carbono equivalente
CTC	Capacidade de troca catiônica
Cu	Cobre
Cv	Cultivar
DGGE	Denaturing Gradient Gel Electrophoresis
DIVMS	Digestibilidade <i>in vitro</i> da matéria seca
Ds	Densidade do solo
E	Equidade ou índice de similaridade
ECS	Estoque de carbono no solo
FÁC	fosfatase ácida
FAL	fosfatase alcalina
FDA	Fibra em detergente ácido
FDAC	Fibras em detergente ácido da fração colmo
FDN	Fibra em detergente neutro
FDNF	Fibras em detergente neutro da fração folha
FDNC	Fibras em detergente neutro da fração colmo
Fe	Ferro
GEE	emissão de gases do efeito estufa
H	índice de Shannon, diversidade microbiana
ha	Hectare (10.000 m <sup>2</sup> )
HCEL	hemicelulose
IL	Interceptação luminosa
ILF	Integração Lavoura-Floresta

ILPF	Integração Lavoura-Pecuária-Floresta
IPF	Integração Pecuária-Floresta
K	Potássio
kg	kilograma
LIG	lignina
LVd	Latosolo Vermelho distrófico típico
m <sup>2</sup>	Metro quadrado
Mg	Magnésio
MM	Material morto
mm	Milímetros cúbicos de precipitação
Mn	Manganês
MO	Matéria orgânica
MS	Matéria seca
MSFT	Matéria seca forragem total
MTG	thousand grains mass
MV	Matéria verde
N	Nitrogênio
N <sub>2</sub>	Nitrogênio atmosférico
NIR	espectroscopia de reflectância de infravermelho proximal
° C	Graus Célsius
P	Fósforo
PB	Proteína bruta
PFT	produção forragem total
PIA	Piatã
PME	peso médio da espiga
PNP	p-nitrofenil fosfato sódio
PS	pleno sol
PV	Peso vivo
QS	qualidade biológica do solo
RBS	respiração basal do solo
RFAi	avaliação da radiação fotossinteticamente ativa incidente
S	riqueza de substrato
SAFs	sistemas agroflorestais
SSP	sistema silvipastoril
t	Tonelada métrica
TL	Taxa de lotação
UFC	unidades formadoras de colônias
UR	urease

---

## LISTA DE TABELAS

---

### CAPÍTULO 2

<b>Tabela 1</b> – Caracterização química do solo da área experimental nas camadas de 0-20 e 0-40 cm, Sete Lagoas, MG, 2016.....	55
<b>Tabela 2</b> - Período experimental do ciclo de pastejo de 2015/2016, nas coletas da forrageira <i>Urochloa brizantha</i> cv. Piatã em Sete Lagoas, MG.....	57
<b>Tabela 3</b> – Radiação fotossinteticamente ativa (RFA) (%) no dossel forrageiro de <i>U. brizantha</i> Piatã em pastagem de <i>Urochloa brizantha</i> cv. Piatã em sistemas silvipastoris com <i>Eucalyptus</i> ssp. sob diferentes densidades e anos de implantação em relação a pastagem a pleno sol, conforme estações climáticas <sup>1</sup> , Sete Lagoas, MG.....	59
<b>Tabela 4</b> – Valores médios da altura do dossel (m) e desvios padrão da forrageira <i>Urochloa brizantha</i> cv. Piatã dos sistemas silvipastoris (SSP) e pastagem a pleno sol (PS) nos cortes avaliados, Sete Lagoas, MG.....	61
<b>Tabela 5</b> – Valores médios da biomassa da forragem disponível (Kg ha <sup>-1</sup> ) e desvios padrão da forrageira <i>Urochloa brizantha</i> cv. Piatã dos sistemas silvipastoris (SSP) e pastagem a pleno sol (PS) nos cortes avaliados, Sete Lagoas, MG.....	62
<b>Tabela 6</b> – Valores médios e desvios padrão da percentagem de lâmina foliar (%F), percentagem de colmo (%C) e percentagem de material morto (%MM) da <i>Urochloa brizantha</i> cv. Piatã nos sistemas silvipastoris (SSP) e pastagem a pleno sol (PS) nos cortes avaliados, Sete Lagoas, MG.....	65
<b>Tabela 7</b> - Valores médios e desvios padrão da Relação Folha: Colmo (RFC) da <i>Urochloa brizantha</i> cv. Piatã nos sistemas silvipastoris (SSP) e pastagem a pleno sol (PS) nos cortes avaliados, Sete Lagoas, MG.....	66
<b>Tabela 8</b> - Valores médios e desvios padrão da proteína bruta (PB) da planta inteira, folha e colmo do <i>U. brizantha</i> cv. Piatã nos sistemas silvipastoris (SSP) e pastagem a pleno sol (PS) nos cortes avaliados, Sete Lagoas, MG.....	67
<b>Tabela 9</b> - Valores médios e desvios padrão da fibra em detergente neutro (FDN) da <i>U. brizantha</i> cv. Piatã nos sistemas silvipastoris (SSP) e pastagem a pleno sol (PS) nos cortes avaliados, Sete Lagoas, MG .....	70
<b>Tabela 10</b> - Valores médios e desvios padrão da fibra em detergente ácido (FDA) da <i>Urochloa brizantha</i> cv. Piatã nos sistemas silvipastoris (SSP) e pastagem a pleno sol (PS) nos cortes avaliados, Sete Lagoas, MG .....	72
<b>Tabela 11</b> - Valores médios e desvios padrão do conteúdo celulose (CC) da planta inteira, folhas e colmos na forrageira da <i>U. brizantha</i> cv. Piatã nos sistemas silvipastoris (SSP) e pastagem a pleno sol (PS) nos cortes avaliados, Sete Lagoas, MG .....	73
<b>Tabela 12</b> – Valores médios e desvios padrão da hemicelulose na planta inteira, folhas e colmos na forrageira da <i>U. brizantha</i> cv. Piatã nos sistemas silvipastoris (SSP) e pastagem a pleno sol (PS) nos cortes avaliados.....	75
<b>Tabela 13</b> – Valores médios e desvios padrão da digestibilidade <i>in vitro</i> da matéria seca da planta inteira, folha e colmo da <i>U. brizantha</i> cv. Piatã nos sistemas silvipastoris (SSP) e pastagem a pleno sol (PS) nos cortes avaliados, Sete Lagoas, MG.....	76

---

---

### CAPÍTULO 3

<b>Tabela 1</b> – Caracterização química do solo da área experimental nas profundidades de 0-20 e 0-40 cm Atributos químicos médios do solo de cada sistema na área experimental nas camadas de solo 0-20 e 0-40 cm, em Sete Lagoas, MG, 2016.....	86
<b>Tabela 2</b> – Teores médios e desvio de padrão de Carbono Orgânico Total (COT, g kg <sup>-1</sup> ) em diferentes profundidades do solo (cm) sob sistemas silvipastoris (SSP) e pastagem a pleno sol (PS), Sete Lagoas, MG.....	90
<b>Tabela 3</b> – Valores médios de Densidade do Solo (Ds, g cm <sup>3</sup> ) em sistema silvipastoris (SSPs) com eucalipto e U.brizantha cv. Piatã, pastagens a pleno sol (PS) e cerrado (CE), em diferentes profundidades do solo (cm).....	91

---

### CAPÍTULO 4

<b>Tabela 1</b> – Caracterização química do solo da área experimental na profundidade de 0-20 cm, em Sete Lagoas, MG, 2016.....	107
<b>Tabela 2</b> – Atividade da enzima urease (UR), aginase (AR), fosfatase ácida (FÁC), fosfatase alcalina (FAL) e a respiração basal do solo (RBS) em setes ambientes independente da profundidade.....	113
<b>Tabela 3.</b> Atividade da enzima urease (UR), arginase (AR), fosfatase ácida (FÁC), alcalina (FAL), e respiração basal do solo (RBS) em função de duas profundidades do solo.....	115
<b>Tabela 4</b> – População de bactérias (UFCBAC) e de colônias de fungos (UFCFUNG) e relação bactéria: Fungo (B:F) nos solos dos sistemas silvipastoris (SSP), das pastagens à pleno sol (PS) e do Cerrado.....	117
<b>Tabela 5</b> – Atividade total (AT), índice de Shanon (S), diversidade microbiana (H), equidade (E) em setes ambientes avaliados.....	118

---

## LISTA DE FIGURAS

---

### CAPÍTULO 2

**Figura 1** – Médias diárias de temperatura máxima T máx (°C) e mínima T<sub>min</sub> (°C) e precipitação pluviométrica (mm), e datas de cortes de amostragens, durante o período experimental nos anos 2015 e 2016, em Sete Lagoas, MG. Fonte: CNPMS/Embrapa; INMET..... 54

**Figura 2** – Área experimental com os sistemas de cultivo: sistemas silvipastoris implantado em 2009 com 333 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP1), em 2009 com 166 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP2), em 2011 com 333 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP3) e em 2011 com 166 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP4) e pastagens de *Urochloa brizantha* cv. Piatã à pleno sol: implantada em 2009 (PS) Fonte: maps/google.com.br.....56

---

### CAPÍTULO 3

**Figura 1** – Médias diárias de temperatura máxima T máx (°C) e mínima T<sub>min</sub> (°C) e acúmulos de precipitação pluviométrica (mm), durante o período experimental nos anos 2015 e 2016, na área experimental da Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas - MG Fonte: Dados cedidos da Embrapa Milho e Sorgo.....85

**Figura 2** – Sistemas avaliados: (a) Sistema silvipastoril implantado em 2009 e 166 árvores ha<sup>-1</sup> – SSP2; (b) Sistema silvipastoril implantado em 2011 e 333 árvores ha<sup>-1</sup> – SSP3; (c) Mata nativa de Cerrado (CER) e (d) Pastagem de *Urochloa brizantha* cv. Piatã a pleno sol (PS) com sete anos de implantação.....87

**Gráfico 1** – Valores médios de Estoque de Carbono do Solo por cm<sup>-1</sup> do perfil do solo – ECScm<sup>-1</sup> (Mg ha<sup>-1</sup>) no perfil do solo (0-100 cm) sob ambientes: sistemas silvipastoris (SSP); implantado em 2009 com 333 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP1), e com 166 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP2), em 2011 com 333 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP3) e com 166 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP4) e pastagem a pleno sol (PS) e cerrado, em Sete Lagoas, MG. \*Médias seguidas de letras distintas diferem pelo teste Tukey (p<0,05), sendo que minúscula compara nas camadas de solo (cm) e maiúscula compara ambientes avaliados.....92

**Gráfico 2** – Valores médios de Estoque de Carbono do Solo do solo – ECS (Mg ha<sup>-1</sup>) no perfil do solo (0-100 cm) sob ambientes: sistemas silvipastoris (SSP); implantado em 2009 com 333 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP1), e com 166 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP2), em 2011 com 333 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP3) e com 166 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP-4) e pastagem a pleno sol (PS) e cerrado, em Sete Lagoas, MG. \*Médias seguidas de letras distintas diferem pelo teste Tukey (p<0,05), sendo que minúscula compara nas camadas de solo (cm) e maiúscula compara ambientes avaliados..... 94

**Gráfico 3** – Valores médios de Estoque de Carbono Total do Solo (Mg ha<sup>-1</sup>) no perfil do solo (0-100 cm) sob os ambientes: sistemas silvipastoris (SSP); implantado em 2009 com

333 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP1), e com 166 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP2), em 2011 com 333 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP3) e com 166 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP4); pastagens à pleno sol implantada em 2009 (PS) e cerrado (CER)  
\*Médias seguidas de letras distintas diferem pelo teste Tukey (p<0,05)..... 95

#### **CAPÍTULO 4**

**Figura 1** – Médias diárias de temperatura máxima T máx (°C) e mínima Tmin (°C) e acúmulos de precipitação pluviométrica (mm), durante o período experimental nos anos 2015 e 2016, em Sete Lagoas - MG. Fonte: Dados cedidos da Embrapa Milho e Sorgo....107

**Figura 2** – Área experimental com os sete ambientes avaliados: sistemas silvipastoris implantado em 2009 com 333 árv ha<sup>-1</sup> (SSP1), em 2009 com 166 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP2), em 2011 com 333 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP3) e em 2011 com 166 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP4) e pastagens à pleno sol: implantada em 2009 (PS1) e implantada em 2011 (PS2) e cerrado (CER). .....108

**Figura 3** – a) DGGE e dendograma das bactérias do solo b) DGGE e dendograma de fungos do solo \*Ambientes: sistemas silvipastoris: implantado em 2009 com 333 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP1), em 2009 com 166 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP2), em 2011 com 333 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP3) e em 2011 com 166 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP4); pastagens à pleno sol: implantada em 2009 (PS1) e implantada em 2011 (PS2) e cerrado *sensu scstricto* (CER).....121

---

#### **ANEXO**

**Anexo 1** – Análise de correlação de Pearson entre a radiação fotossinteticamente ativa incidente (RFAi) e os parâmetros agrônômicos e bromatológicos avaliados..... 135

---

## RESUMO

MOREIRA, Elwira Daphinn Silva Moreira. **Produtividade e Valor nutritivo de *Urochloa brizantha* cv. Piatã e Qualidade do Solo em Sistema Silvipastoril na Região Central de Minas Gerais** 2018. 135f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG

A presença de árvores em sistemas silvipastoris (SSP) pode afetar a produção de forragem, as características estruturais, bromatológicas e a sustentabilidade ambiental nestes sistemas. Objetivou-se avaliar parâmetros produtivos e o valor nutritivo da *Urochloa brizantha* cv. Piatã, a qualidade de solos, bem como a interceptação luminosa nos sistemas silvipastoris com diferentes densidades arbóreas e anos de implantação. O ensaio foi conduzido na Embrapa Milho e Sorgo, no município de Sete Lagoas, Minas Gerais. O delineamento experimental adotado foi inteiramente ao acaso, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram: sistemas silvipastoris com *U. brizantha* Piatã e *Eucalyptus grandis* GG100, implantados em 2009; (SSP1) com 333 árvores ha<sup>-1</sup> e (SSP2) com 166 árvores ha<sup>-1</sup> e em 2011; (SSP3) com 333 árvores ha<sup>-1</sup> e (SSP4) com 166 árvores ha<sup>-1</sup>. Além dos sistemas silvipastoris nos arranjos espaciais 15 x 2 e 15 x 4 m, uma pastagem com a mesma forrageira à pleno sol (PS) implantada em 2009 e uma área de Floresta Estacional Semidecidual de transição para Cerrado. As amostras da forrageira foram retiradas nas distâncias a partir do componente arbóreo de 0,5; 1,25; 3 e 7 m. A cada 28 dias coletou-se, em quatro repetições, a forragem com uso de quadrado metálico de 1 m<sup>2</sup>. Determinou-se a produtividade da planta inteira e frações: folha, colmo e material morto. Foram avaliadas a produção de massa seca, relação lâmina colmo, valor nutritivo, e interceptação luminosa. Foi mensurada radiação fotossinteticamente utilizando o ceptômetro. Amostras de solo foram coletadas nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-100 cm para avaliação de estoque de carbono, e a 0-5 e 60-100 cm para análises microbiológicas: atividades enzimáticas, metabólicas, contagem de população de microrganismos do solo e diversidade genética (a 0,5 e 7 m do renque do eucalipto). Realizou-se a ANOVA e comparação de médias pelo teste Tukey com  $\alpha = 0,05$ . A produção de matéria seca no capim Piatã apresentou efeito dos sistemas avaliados, sendo a produção durante ciclo de pastejo (405 dias) foi de 13.513,25 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> nos SSPs e 28533 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> nos PS. O desbaste de 50% das árvores nos SSPs não apresentou efeito significativo sobre a RFAi e produção da forragem. O avanço de cinco para sete anos de implantação dos SSPs não afetaram a RFAi no subbosque, entretanto, causou reduções na produção e qualidade da forragem. O sombreamento crescente ao longo do tempo estimulou o aumento da altura média do dossel. A relação folha:caule da gramínea foi afetada pelo sombreamento no sistema SSP. As frações da forrageira não alteraram pela redução do RFAi na forragem SSP quando comparada a PS ( $P > 0,05$ ). Os sistemas silvipastoris promoveram incrementos na PB, DIVMS e redução nas fibras em relação a pastagem PS. Quanto aos atributos biológicos (UR, RBS, H e diversidade genética) nos solos houve efeito significativo ( $P < 0,05$ ) entre os sistemas avaliados em comparação com vegetação nativa, exceto nas distâncias a partir da linha de eucalipto que não difere estatisticamente ( $P > 0,05$ ), apesar que, quanto a diversidade



genética no solo a distância amostrada distinguiu sobretudo no grupo funcional fungos. O estoque de carbono no solo apresentou efeito entre sistemas ( $P < 0,05$ ) nas profundidades com maiores valores nos SSP a mais tempo estabelecido e pastagem PS. A associação de árvores e pastagem apesar da redução em 53% da produção da forrageira mostra-se promissora com bons resultados nos aspectos bromatológicos, melhorias na qualidade do solo. Além de contribuir para serviços ambientais como ampliações no estoque de carbono no solo e propiciam melhorias na qualidade do solo pelo aumento da atividade e diversidade da microbiota edáfica.

**Palavras-chave:** qualidade do solo, integração pecuária-floresta, carbono no solo, valor nutricional

## ABSTRACT

MOREIRA, Elwira Daphinn Silva. **Productivity and nutritional value of *Urochloa brizantha* cv. Piatã and Soil Quality in Silvopastoral System in the Central Region of Minas Gerais.** 2018. 135f. Thesis (PhD in Animal Science) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG

The presence of trees in silvopastoral systems (SPS) can affect forage production, structural, characteristics bromatological and environmental sustainability in these systems. The objective of this study was to evaluate the productive parameters and nutritional value of *Urochloa brizantha* cv. Pipe, soil quality, as well as light interception in silvopastoral systems with different tree densities and years of implantation. The trial conducted at Embrapa Milho and Sorgo, in the Sete Lagoas city, Minas Gerais. The experimental design was completely randomized, with four replications. The treatments consisted of: silvopastoral systems with *U. brizantha* Piatã and *Eucalyptus grandis* GG100, implanted in 2009; (SPS1) with 333 ha<sup>-1</sup> trees and (SPS2) with 166 ha<sup>-1</sup> trees and in 2011; (SPS3) with 333 ha<sup>-1</sup> trees (SPS4) with 166 ha<sup>-1</sup> trees. In addition to the silvopastoral systems, in spatial arrangements 15 x 2 and 15 x 4 m, a pasture with the same forage in full sun (SP) implemented in 2009 and a area Transitional Semidecidual Seasonal Forest for Cerrado. Samples were taken at distances from the tree component of 0.5; 1.25; 3 and 7 m. At each 28 days, the forage was collected in four replicates using a 1 square meter metal square. The productivity of the whole plant and fractions were determined: leaf, stem and dead material. The production of dry mass, leaf blade ratio, nutritive value, and light interception were evaluated. Photosensitivity radiation was measured using the ceptometer. Soil samples were collected at depths 0-5, 5-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-100 cm for carbon stock, and 0-5 and 60-100 cm for microbiological analyzes: enzymatic activities, metabolic, microorganism population ground, genetic diversity (0.5 and 7 m between *Eucalyptus* tree). ANOVA and means comparison were performed by the Tukey test with  $\alpha = 0.05$ . The dry matter production in the Piatã grass showed an effect of systems for whole plant, and the production of the grazing (405 day) foi was 13513.25 kg ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> in the SPSs and 28533 kg DM ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> in the SP. The thinning of 50% of the trees in the SPSs did not present significant effect on the PAR<sub>i</sub> and forage production. The five-to-seven-year SPS implementation did not affect PAR<sub>i</sub> in sub-soils, however, causing reductions in forage yield and quality. Increasing shading over time stimulated the increase in mean canopy height. The leaf: stem ratio of the grass was affected by shading in the SSP system. The forage fractions did not change by the reduction of the PAR<sub>i</sub> in the SPS forage when compared to PS ( $P > 0.05$ ). The silvopastoral systems promoted increases in CP, DM and fiber reduction in relation to PS pasture. As for the biological attributes (UR, BRS, H and genetic diversity) in the soils, there was a significant effect ( $P < 0.05$ ) between the evaluated systems compared to native vegetation, except for distances from the eucalyptus line, which did not differ statistically ( $P > 0.05$ ), although, in terms of genetic diversity in the distance, the distinction was mainly found in functional fungi. The carbon stock in the soil showed an effect between systems (P epasture). The association of trees and pasture in spite of the reduction in 53% of forage

production shows promise with good results in the bromatological aspects, improvements in the quality of the soil. Besides contributing to environmental services such as expansions in the carbon stock in the soil and provide improvements in soil quality by increasing the activity of the soil microbiota.

**Key words:** soil quality, forest-livestock integration, soil carbon, nutritional value

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

A degradação das pastagens é um dos grandes problemas para o setor que tem as pastagens como a base para a alimentação do rebanho bovino nacional (Galdino et al., 2016), contabilizando 215,2 milhões de cabeças (IBGE, 2016). Diante disso e da demanda crescente de carne dos mercados interno e externo, o grande desafio da pecuária brasileira é o aumento de produção por meio do incremento da produtividade e rentabilidade de suas terras, sem a necessidade de abertura de novas áreas.

Perante esse cenário, se faz necessário a busca por práticas que atribuam sustentabilidade ao sistema produtivo. Os sistemas de integração de espécies em uma mesma área pode ser uma alternativa para diversificar a renda, aliado à necessidade de preservação do meio ambiente. Os cultivos integrados são sistemas de produção conhecidos como consórcios, tais como a integração pecuária-floresta e a integração lavoura-pecuária-floresta, além das práticas de sucessão e de rotação de culturas, com suas diversas combinações de cultivos.

A exploração do ambiente produtivo por maior período de tempo e de maneira diversificada pode maximizar a produtividade, otimizando o uso dos recursos naturais com vários benefícios, como menor incidência de plantas daninhas e doenças, melhoria das condições químicas, físicas e biológicas do solo, estabilidade econômica, aumento de renda e menor dependência do clima para sucesso da atividade agrícola (Cordeiro et al., 2015). Nestes sistemas, torna-se necessário uma eficiente gestão da produção e utilização da forragem produzida. Além disso, para um bom desempenho é imprescindível a escolha dos componentes, a definição da distribuição espacial desses na área e práticas de manejo que permitam a produtividade mais eficiente.

O eucalipto (*Eucalyptus* spp.) é muito utilizado em associação às gramíneas dos gêneros *Urochloa* spp. nos sistemas silvipastoris no Brasil (Tonucci et al. 2011), sendo a gramínea *U. brizantha* cv. Piatã considerada promissora para o uso nestes sistemas (Coelho, 2011).

A presença de árvores pode afetar a produtividade e valor nutritivo das forragens e ainda a atividade da população microbiana no solo destes sistemas. Conforme elucidam na literatura, estes sistemas proporcionam grande potencial de geração de benefícios econômicos e ambientais para o produtor e para a sociedade, pois são sistemas multifuncionais, onde existe a possibilidade de intensificar a produção pelo manejo integrado dos recursos naturais, prevenindo sua degradação e recuperando sua capacidade produtiva, promovendo incrementos no armazenamento de C no solo e ganhos sustentáveis inerente a este sistema (Cerri et al., 2007; Oliveira et al., 2007; Macedo, 2009; Carvalho et al., 2010).

A intensidade destes efeitos varia em função do arranjo e da espécie arbórea utilizada, do grau de sombreamento e da tolerância da espécie a sombra (Paciullo et al., 2008; Radomski; Ribaski et al., 2012). A proximidade dos renques de eucalipto pode impactar em alterações produtivas e qualitativas no desenvolvimento das plantas no sub-bosque em virtude da competição por água, luz e nutrientes no solo (Peri et al., 2007).

A competição entre as espécies pode inviabilizar o cultivo consorciado, entretanto, o conhecimento do comportamento destas na competição por fatores intrínsecos ao desenvolvimento tem grande importância para o êxito na formação da pastagem e produtividade satisfatória das culturas (Pariz et al., 2011; Costa et al., 2016). Para tanto, é

necessária uma visão mais holística desses sistemas integrados e analisar os vários fatores envolvidos no funcionamento da atividade e uma série de características, para assim verificar a viabilidade da implantação do sistema integrado, e evidenciar benefícios dessa opção para melhorar a produtividade e redução dos impactos ambientais na pecuária extensiva.

Vários indicadores microbiológicos do solo têm sido apresentados na literatura para o monitoramento de impactos de diferentes sistemas de manejo e uso do solo, mas pouco se sabe sobre esta alteração na qualidade biológica do solo em sistemas integrados, necessitando pesquisas para analisar às condições da qualidade edáfica sob sistemas silvipastoris e inferir quanto à sua sustentabilidade da produção.

Por tanto, objetivou-se avaliar parâmetros produtivos e qualidade da *U. brizantha* cv. Piatã em sistemas de produção integrados com diferentes densidade arbóreas e anos de implantação em comparação à pastagem em pleno sol. Avaliou-se ainda, os efeitos de luminosidade nestes sistemas em relação a pastagem à pleno sol e a qualidade do solo quanto aos aspectos microbiológicos e armazenamento de carbono em comparação ao do solo sob cerrado, para se estimar os ganhos ambientais dos sistemas avaliados.

## CAPÍTULO 1. REVISÃO DE LITERATURA

### 1.1 Sistemas silvipastoril: Definição e benefícios

As pastagens degradadas representam um elevado custo econômico e ambiental. A baixa produtividade animal aumenta os custos de produção, inviabiliza a atividade e leva o produtor a desmatar novas áreas. Entretanto, as novas pastagens estabelecidas degradam-se em poucos anos e o ciclo se repete. O desmatamento causa impactos ambientais como erosão hídrica, redução da disponibilidade de água no solo, assoreamento de cursos d'água, emissão de gases do efeito estufa (GEE) e perda da diversidade vegetal e animal.

Um sistema produtivo que atrai atenção a fim de estabelecer melhorias nos sistemas agrícolas tradicionais são os sistemas agroflorestais (SAFs) que possibilitam harmonia entre a produção e as condições ecológicas do ambiente, além de considerar os aspectos socioeconômicos da região para se alcançar a sustentabilidade (Fadl; Mahmoud; Hamad, 2015).

Balbino et al. (2012) conceituam a Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) como uma estratégia de produção sustentável que integra atividades agrícolas, pecuárias e florestais, realizadas em mesma área, em cultivo consorciado, em sucessão ou rotação, e busca efeitos sinérgicos entre os componentes do agroecossistema, contemplando a adequação ambiental, valorização do homem e viabilidade econômica da atividade agropecuária.

Segundo esses autores, os sistemas integrados são classificados em quatro modalidades: i) Integração lavoura-Pecuária (ILP) ou Sistema Agropastoril: sistema de produção que integra os componentes agrícolas, pecuário em rotação, consórcio ou sucessão, na mesma área e no mesmo ano agrícola ou por múltiplos anos. ii) Integração Pecuária-Floresta (IPF) ou Sistema Silvopastoril: sistema de produção que integra os componentes pecuário (pastagem e animal) e florestal, em consórcio; iii) Integração Lavoura-Floresta (ILF) ou Sistema Silviagrícola: sistema de produção que integra os componentes florestal e agrícola pela consorciação de espécies arbóreas com cultivos agrícolas (anuais ou perenes); iv) Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) ou Sistema Agrossilvipastoril: sistema de produção que integra os componentes agrícola (grãos), pecuário (pastagem e animal) e florestal (árvores) em rotação, consórcio ou sucessão, na mesma área.

No Brasil, estimam-se que aproximadamente 11,5 milhões de hectares estejam ocupados com sistemas de integração, sendo 83% com sistemas ILP, 7% com sistema silvipastoril (IPF), 9% com sistema ILPF e 1% com sistema silviagrícola (ILF) (Embrapa, 2016). No país, estima-se que estes sistemas integrados estão distribuídos geograficamente, sendo que 20,32% encontram-se em na região Centro-Oeste, 44,25% na região Sul, 22,36% na região Sudeste, 13,57% na região Norte e 27,54% na região Nordeste (Embrapa, 2016). Esses índices indicam a importância dos ILPF com o cultivo de gramíneas forrageiras para a produção de ruminantes no país.

O governo brasileiro estabeleceu em 2009, a partir de compromisso assumido na Conferência das Partes (COP-15, Copenhague), um programa para diminuição voluntária das emissões de GEE, Programa ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono). Neste programa há uma disponibilização de crédito, dentre outros, para recuperação de 15 milhões

de hectares com pastagens degradadas e para implantação de 4 milhões de hectares com sistemas de ILPF, até 2020, visando à melhoria da sustentabilidade da pecuária brasileira e comercialização da árvore ao final de um ciclo do sistema (Brasil, 2010).

A utilização da área entre os renques (fileiras) de árvores com lavoura e pastagem durante os anos de crescimento das árvores contribui para maximização da produção sob o ponto de vista econômico há uma eficiência maior da unidade produtiva e apresentaram baixo risco econômico-financeiro (Oliveira Júnior et al., 2016). Segundo Alvarenga e Gontijo Neto (2012), a possibilidade de produzir bovino mais precoce pode contribuir para a mitigação de emissão de gases do efeito estufa GEE por animal (kg de CO<sub>2</sub>eq/@ produzida) e promover a fixação de C pelos outros componentes do sistema ILPF.

Carvalho et al. (2014) citam alguns benefícios do uso de ILPF, por proporcionar: maior eficiência no uso dos recursos naturais de diferentes estratos do solo e acima deste (Wright et al., 2012); promoção de ciclagem de nutrientes e melhoria do solo (Salton et al., 2014); redução dos custos de produção (Ryschawy et al., 2012), manutenção de níveis de produtividade elevados (Balbinot Jr. et al., 2009), conforto térmico animal (Pastal et al., 2015) e ainda por produzir inúmeros serviços ecossistêmicos (Sanderson et al., 2013). Estes sistemas possuem papel fundamental sobre o microclima das faixas de pastagem e geração de sombra, com efeitos positivos no desempenho dos animais (Alvarenga; Gontijo neto, 2012), entretanto, a presença de árvores pode alterar o desenvolvimento da espécie forrageira sombreada, modificando seu padrão de crescimento e ocupação da área (Crestani, 2015).

Além da preservação do meio ambiente, em especial dos solos, a adoção do sistemas integrados potencializa os aspectos social e econômico da atividade pecuária, gerando aumento da renda, melhoria no padrão de alimentação do produtor, maior variedade de produtos e serviços, emprego fixo durante o ano e manutenção do agricultor e de sua família no campo. Estes sistemas foram reconhecidos como alternativas para intensificação sustentável e recuperação de área degradadas (FAO, 2009).

Embora se conheça os benefícios que os sistemas silvipastoris proporcionam ao ambiente, ainda existe a resistência na adoção por alguns produtores. Esse fato se explica por existirem barreiras econômicas, operacionais e culturais, já que o produtor necessita de maior investimento inicial, tanto de capital financeiro como de mão de obra, cujo retorno é proporcionado pelo sistema em longo prazo (Dias-Filho e Ferreira, 2007). Além do que, estes sistemas apresentam uma maior complexidade em razão da exigência de conhecimento tecnológico e, muitas vezes, os produtores têm percepções limitadas sobre suas características benéficas e potencialidades agrônomicas (Militão, 2017).

## **1.2 *Urochloa brizantha* cv. Piatã nos sistemas integrados**

Para a boa produtividade nos sistemas silvipastoris é necessário a escolha dos componentes envolvidos. A definição da distribuição espacial na área e as práticas de manejo que permitam a produtividade mais eficiente são necessárias. Alterações produtivas e qualitativas na forrageira podem ocorrer, portanto deve se estar atento à tolerância ao sombreamento nestes sistemas, uma vez que nessa condição, as forrageiras tendem a priorizar o crescimento da parte aérea em detrimento do sistema radicular com menor acúmulo de

carboidratos de reserva, atrasar o início do florescimento e diminuir a produção de biomassa aérea, modificando o alimento disponível para o animal (Peri et al., 2007; Paciullo et al., 2011).

Definir as espécies que irão compor o sistema integrado é um fator primordial para o sucesso do sistema, sendo necessário escolher espécies que sejam mais adaptadas às condições edafoclimáticas do local. As espécies devem possuir ciclo de vida diferenciados (curto, médio e longo), com boa capacidade de rebrota, além de serem menos exigentes em água e nutrientes e não possuírem efeitos alelopáticos, e sobretudo, serem economicamente rentáveis.

As forrageiras, normalmente, são mais sensíveis na fase de estabelecimento ao sombreamento do que na fase produtiva, sendo que, na literatura cita algumas gramíneas: *Brachiaria brizantha* cvs. Marandu e Xaraés, *B. decumbens* cv. Basilisk, *Panicum maximum* cvs. Aruana, Mombaça e Tanzânia e *Panicum* spp. cv. Massai, consideradas tolerantes ao sombreamento em sistemas de ILPF (Paciullo et al., 2007; Varella et al. 2009). Alguns pesquisadores destacam que o capim-Piatã (*Urochloa brizantha* cv BRS Piatã) é uma alternativa promissora para integração lavoura-pecuária, uma vez que o rápido restabelecimento dos padrões de crescimento é fundamental nas condições deste sistema (Crestani, 2015; Neves Neto et al., 2015; Quintino et al., 2016).

O gênero *Urochloa* (Syn. *Brachiaria*) representa aproximadamente 85% das pastagens cultivadas no Brasil (Fonseca et al., 2006). A forrageira *Urochloa brizantha* cv BRS Piatã apresenta características de robustez e produtividade, é um lançamento mais recente de espécie forrageira em 2007, pela Embrapa e parceiros (Almeida et al., 2009), a partir de uma coleção selecionada após 16 anos de avaliações pela Embrapa Gado de Corte, originalmente coletada pelo Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), na década de 1980, na região de Welega, na Etiópia, África (Quintino et al., 2016). Pouco se sabe sobre seu comportamento em situações de corte ou pastejo, principalmente quando sombreadas sob sistemas silvipastoris.

O capim-Piatã é uma planta de crescimento ereto e hábito cespitoso de porte médio, com colmos verdes e finos, com a formação de touceiras que variam de 0,85 a 1,10 m de altura. Este apresenta perfilhamento aéreo, semelhante ao capim-marandu. A cultivar Piatã se destaca pelo elevado crescimento foliar, maior disponibilidade de folha sob pastejo e adequado valor nutritivo (Valle et al., 2007). As bainhas foliares têm poucos pelos e a lâmina foliar é glabra. A lâmina é áspera na face superior, tem bordas serrilhadas e cortantes. Sua inflorescência diferencia das atuais cultivares disponíveis de *U. brizantha* por apresentar maior número de racemos (até 12) quase horizontais, com pêlos longos e claros nas bordas, espiguetas sem pelos e arroxeadas no ápice (Lupatini, 2010).

Esta forrageira é uma opção, dentre as cultivares de *U. brizantha*, interessante para integração, visto que, a produção de forragem é de melhor qualidade em relação ao Marandú e Xaraés, há maior acúmulo de folhas, se adapta a solos úmidos (ou com drenagem deficiente), de média fertilidade, e ainda apresenta aptidão para diferimento do pastejo relativamente ao Xaraés, além de apresentar facil dessecação e crescimento inicial mais lento que os capins Xaraés e Marandú, além das características favoráveis de manejo, arquitetura de planta e acúmulo de forragem no período seco (EMBRAPA, 2014). Comparando estas três forrageiras



citadas sob condições de pastejo durante três anos, Euclides et al. (2009) constataram que o Piatã apresentou um maior ganho de peso diário por animal, a maior taxa de lotação e ganho animal por unidade de área para o cultivar Xaraés.

De acordo com Valle et al. (2007), o capim Piatã pode ser cultivado em praticamente todo o país, em regiões com bom regime de chuvas e sem invernos rigorosos. Esses autores obtiveram valores médios de 9,5 t ha<sup>-1</sup> de MS para produção do capim-piatã em solos de média fertilidade e sem reposição de adubação no Mato Grosso do Sul. Sob essas condições edafoclimáticas a forrageira apresentou uma produção de 57% de folhas, sendo 30% desse total no período seco do ano. O teor médio de proteína bruta (PB) nas folhas foi de 11,3 e a média anual de digestibilidade *in vitro* da matéria orgânica de 58%. O capim-piatã apresenta rebrota mais rápida se comparado ao capim-marandú.

Em Campo Grande, em solos de fertilidade média, as taxas de acúmulo de massa seca de folhas nos períodos de água e seca foram, respectivamente, de 53,6 e 8,3 kg ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>, para o capim-piatã, superiores aos 47,8 e 6,70 kg ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> do capim-marandú (Andrade; Assis, 2010).

Nantes et al. (2013) ressaltam que o capim-Piatã influenciou o desempenho animal, durante as águas, manejados sob lotação contínua com ganho de peso por hectare de 1050, 910 e 635 kg, mantidos a 15, 30 e 45 cm de altura, respectivamente, embora o ganho diário por animal não ter tido efeito. Estes mesmos autores ratificam que o capim-piatã sob lotação contínua deve ser manejado entre 15 e 30 cm.

O capim-Piatã sob condições de déficit hídrico se mostrou verde por mais tempo, com menor redução de crescimento do que aos capins Xaraés, Marandú e Paiaguás, entretanto, apresentou-se menos produtivo em função do estresse hídrico (Pezzopane et al., 2014).

Em área da Embrapa Gado de Corte, em Campo Grande, MS, Quintino et al. (2016) avaliaram as características morfogênicas e estruturais do capim-Piatã em monocultivo e em consórcio com sorgo de corte e pastejo na rebrotação de outono-inverno, em sistema ILP e verificaram que a rebrotação do capim-piatã não foi afetada na consorciação com sorgo nas suas características estruturais e morfogênicas. Nas características estruturais, o número de folhas vivas por perfilho foi de 7,25 folhas perfilho<sup>-1</sup>, o comprimento final das lâminas foliares demonstrou valor considerado baixo (31,90), que pode ser resultado do menor comprimento do colmo.

Santos et al. (2014) avaliaram a influência da radiação solar sobre a produção de massa seca de forragem da *Urochloa brizantha* cv. BRS Piatã em sistema silvipastoril com o eucalipto *urograndis*, as mesmas espécies do presente estudo, verificaram que a maior produção de massa seca de forragem (3.680,0 kg.ha<sup>-1</sup>) foi encontrada na pastagem á pleno sol.

Ainda há muitos questionamentos a respeito do uso do capim-Piatã nos sistemas de produção integrados, mas há evidências que o capim-Piatã é uma forrageira com potencial para os sistemas integrados.

### 1.3 Efeito do sombreamento sobre produção e qualidade de forrageiras no sub-bosque

Uma das formas de otimizar a produção forragens é adotar manejo adequado para se obter máxima produção forrageira por unidade de área, e valor nutritivo aceitável durante a estação de pastejo, atendendo às exigências nutricionais dos animais e fisiológicas das plantas (Detmann et al., 2008).

A estacionalidade na produção de forragem durante o ano e o não atendimento adequado às exigências nutricionais dos animais pode gerar redução na produtividade da pecuária brasileira. A combinação definida e integrada do animal, da planta, do solo e de outros componentes do ambiente sob métodos de pastejo pelos quais o sistema é submetido para atingir resultados ou objetivos específicos é uma alternativa para otimizar a produção forrageira visando prolongar o período de utilização da pastagem, bem como melhorar a sua qualidade (Araújo Filho, 2010).

No noroeste de MG, Oliveira et al. (2007) verificaram que o rendimento e aspectos de qualidade da forragem em cada arranjo de sistema agrossilvipastoril com eucalipto em linhas duplas: (3 x 3)+10 m, (3 x 4)+7 m, (3 x 4)+10 m, (3 x 4)+7+10 m, (3 x 3)+15 m e linhas simples: 10x3 m, e 10x4 m foram maiores na entrelinha (média geral 2,64 t ha<sup>-1</sup> de MS) do que na linha de plantio (média geral 1,26 t ha<sup>-1</sup> de MS), independente do arranjo de plantio do eucalipto, provavelmente em virtude de ausência ou menor competição proporcionada pelo eucalipto. Embora, esses autores relatam que maiores radiação fotossinteticamente ativa (1500  $\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^2$ ), foi maior na linha de plantio em diferentes arranjos que na entrelinha. Os variados arranjos do ILPF não apresentaram efeito no teor de fibras, N e P da forragem. As concentrações de Ca, K e Mn foram maiores na braquiária sob as linhas de plantio do eucalipto e as concentrações de Mg e Zn maiores na entrelinha de plantio (Oliveira et al., 2007).

Ressalta-se que quando não existem mais fatores limitantes, a produção de forragem será afetada pela variação da quantidade de radiação solar recebida, em função da demanda da evaporação imposta por este regime de radiação (Bazill, 1987).

No manejo de pastagens em sistemas integrados diversos, fatores são relacionados com a resposta morfofisiológica e a sobrevivência das plantas forrageiras, características tais que as plantas adquiriram para, ligeiramente, substituir tecidos removidos pelo pastejo. Paciullo et al. (2007) asseguram que o mais indicado seria pastejos realizados a 95% de interceptação luminosa (IL) do pasto, ou seja, pastos em pré-pastejo aos 25 cm de altura (do horizonte de folhas) e pós-pastejo aos 15 cm, para uma boa produtividade sem que a rebrotação das folhas seja prejudicada. Os autores observaram que o sombreamento intenso (65%) promovido pelas árvores diminuiu os valores de massa seca de forragem, densidade de perfilhos e índice de área foliar da forrageira em relação ao cultivo solteiro, enquanto o sombreamento moderado (35%) não modificou essas variáveis, em relação ao pleno sol.

Crestani (2015) ao avaliar o capim-Piatã em monocultivo e em três regimes de sombra (0, 18 e 55% de sombreamento) observou que o sombreamento provocado pelas árvores reduziu a massa seca de forragem pré pastejo em 36 e 71%, respectivamente, para os regimes de sombra de 18 e 55% de sombreamento, quando comparados a pastagem à pleno sol.

O uso do pasto, no momento em que o relvado intercepta 95% da luz incidente, proporciona benefícios em relação à eficiência do pastejo, sendo um critério admissível de ser usado pelos produtores, ao associar esse momento com uma altura, como sendo o critério do manejo (Fagundes et al., 1999). Neste trabalho, esses autores verificaram que pastos mantidos mais altos apresentaram os maiores valores de índice de área foliar e IL, todavia ao interceptar 95% da luz incidente a taxa de crescimento do pasto estaria próxima do valor máximo. Entretanto, plantas forrageiras no sub-bosque poderão não atingir o nível de interceptação de 95% da IL, mesmo com períodos longos de rebrotação. Desse modo, este conceito deve ser revisto. É possível em sistemas sombreados, a avaliação de percentuais de interceptação menores que 95% IL, mesmo admitindo-se que seria o ideal para a maioria das gramíneas manejadas em monocultivo (Machado, 2016). Esses autores evidenciam que para que o dossel atinja 95% de IL em ambientes silvipastoris é necessário que ocorra incrementos nas taxas de alongamento de lâminas foliares e colmo.

Durante o período de crescimento, as forrageiras sombreadas acumulam menor quantidade de reservas como carboidratos e nitrogênio, proporcionando menor vigor de rebrote nas forrageiras submetidas ao sombreamento se comparada às forrageiras em pleno sol, logo o manejo de forrageiras submetidas ao sombreamento deve ser feito com cautela (Varella et al., 2009).

As gramíneas tropicais, com metabolismo C<sub>4</sub> nos sistemas ILPF apresentam uma redução na necessidade de radiação disponível para os processos fotossintéticos que diminui a disponibilidade de fotoassimilados, afetando o desenvolvimento da parte aérea das plantas. Essa menor disposição de fotoassimilados para o desenvolvimento de parede celular secundária reduz os constituintes de parede celular e conseqüentemente os teores de fibra detergente neutro (FDN) e fibra detergente ácido (FDA) (Gobbi et al., 2010).

Segundo Castro et al. (1999) as gramíneas cultivadas na sombra tornaram-se mais suculentas e com menor teor de matéria seca (MS), em razão do desenvolvimento mais lento das plantas, com reduzida velocidade de perda de água pelos tecidos. Esses autores ressaltam que de seis espécies de gramíneas forrageiras tropicais (*Andropogon gayanus*, cv. Planaltina, *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, *B. decumbens*, *Melinis minutiflora*, *Panicum maximum*, cv. Vencedor, e *Setaria anceps*, cv. Kazungula), as mais tolerantes ao sombreamento nem sempre são as mais produtivas num determinado nível de sombra, isso em virtude das diferenças no potencial de produção das espécies.

A redução do acúmulo de tecidos mortos pelo sombreamento pode estar associada à velocidade de desenvolvimento das plantas sob sombra e também às condições microclimáticas do ambiente sombreado, onde predominam temperaturas mais amenas e maior umidade do ar e no solo (Garcia e Queiroz, 2012). Essas alterações microclimáticas segundo estes autores podem causar mudanças significativas na morfologia das plantas dentre estas, a área, o comprimento, a espessura e a orientação da lâmina foliar, o comprimento do colmo e o pecíolo, o número de folhas e a relação folha:colmo.

A forrageira *Brachiaria decumbens* mostrou mais resistente à sombra, apresentando aumento nos teores de PB, redução de FDN e maior digestibilidade in vitro da matéria seca (DIVMS), conforme Martuscello et al. (2009) que verificaram respostas positivas de produtividade quando submetida a 50% de sombreamento.

A luz causa efeito no comportamento das plantas, assim, Soares et al. (2009) observaram em onze espécies forrageiras de verão que as plantas sombreadas por *Pinus taeda* apresentam maior teor de PB na lâmina foliar e maior relação lâmina folha:colmo caracterizando uma melhor qualidade, em contrapartida houve redução da produtividade da matéria seca das plantas no sub-bosque. Para minimizar o sombreamento excessivo na produção das forrageiras em sistemas integrados é necessário a adoção de práticas silviculturais como a desrama, em que os galhos do fuste das árvores, com DAP maior que 6 cm foram retirados para minimizar o sombreamento e visar a qualidade das árvores.

A forte redução de RFA compromete a capacidade fotossintética das plantas e afeta significativamente a produção de massa de gramíneas forrageiras. Em sistemas agrossilvipastoris ou silvipastoris, o sombreamento excessivo têm sido relatadas como prejudiciais ao crescimento e produção de forragem (Castro et al., 1999; Paciullo et al., 2007; Pereira et al. 2015).

A presença de árvores na pastagem em virtude do sombreamento estimula a resposta de alongamento das folhas das espécies de *Urochloa* por causa da aplicação de nitrogênio, porém reduz o perfilhamento delas (Paciullo et al, 2011a), evidenciando a importância do manejo florestal em função de luz para a manutenção do sistema. Além de proporcionar, também, alongamento dos colmos como relatado por Gobbi et al. (2009) ao avaliarem os níveis de sombreamento artificial em capim-marandu. Estes autores verificaram que à medida que se reduziu a disponibilidade de luz, aumentou a relação parte aérea:raiz, da área foliar específica, ocorreram alterações no ângulo de inclinação das folhas, na relação folha:caule, no alongamento da lâmina foliar, dos caules, pecíolos e entrenós e reduziu a ramificação e o perfilhamento.

Há uma provável compensação da redução da luminosidade no sub-bosque com ajustes morfofisiológicos pelas forrageiras, em resposta ao sombreamento, tais como aumentos da relação parte aérea e raiz, da área foliar específica e da taxa de alongamento foliar, o que lhe permite manutenção da produtividade, mesmo em condições de luz limitante (Guenni et al., 2008; Paciullo et al., 2008).

Sob condições de baixa luminosidade, as espécies desenvolvem estratégias de tolerância à sombra, como o processo de estiolamento para compensar a redução na luminosidade o que resulta em plantas mais altas, colmos mais longos e as folhas tendem a ficar mais longas permitindo uma melhor distribuição da radiação ao longo do perfil do dossel (Castro et al. 1999; Peri et al. 2007). Outro mecanismo utilizado pelas forrageiras para maximizar a eficiência de interceptação da radiação incidente sob sombreamento é alterar seu ângulo de inclinação foliar, tornando-o mais horizontal. Essas alterações anatômicas podem reduzir a altura do dossel quando comparado com o sistema sob sol pleno (Gobbi et al., 2009).

Ajuste nos processos fisiológicos em função da redução da radiação incidente foi citado por Paciullo et al. (2011b) ao avaliarem avaliar os efeitos de árvores dispostas em renques sobre as características produtivas e nutricionais de *Urochloa decumbens* em um sistema agrossilvipastoril e identificar a distância média de 7 e 10 m na qual ocorreu o melhor aproveitamento dos efeitos benéficos da sombra na densidade de perfilhos, massa de forragem e os acúmulos de matéria seca e proteína bruta. Segundo esses autores, tais mecanismos de

ajustes fisiológicos, como estiolamento, não foram capazes de compensar a redução de radiação e manter a produtividade do pasto, nas condições de sombreamento intenso a até seis metros do renque de árvores.

Existe uma relação direta da qualidade da forragem, maiores ganhos de peso por animal e menor necessidade de oferta de forragem. Euclides (2009) ao avaliar a produção animal e sua relação com as características dos pastos de *Brachiaria brizantha* cultivares Marandú, Xaraés e Piatã verificou que os teores de PB, DIVMO e LDA foram semelhantes ( $P > 0,05$ ) nos pastos, embora a cv. Piatã apresentou maior ( $P < 0,05$ ) teor de FDN do que a cv. Marandú. A produção animal, expressa pelo ganho médio diário foi maior para os animais que pastejavam com a cultivar Piatã. O consumo de matéria seca de forragem e seu valor nutritivo estão associados à qualidade da forragem (Reis *et al.*, 2009).

A composição química e a digestibilidade definem o valor nutritivo das forrageiras, contudo, está sujeito a fatores inerentes às plantas, sendo esses influenciados fortemente pelo ambiente (Abraham *et al.*, 2014). Dentre os fatores mais importantes estão: a espécie, o cultivar, a idade da planta, o período de tempo para a rebrota, a intensidade de desfolhação, o nível de adubação e os fatores de natureza climática (Van Soest, 1994).

A concentração de nutrientes nos tecidos vegetais é afetada pelos processos de fotossíntese, respiração e transpiração (Castro, 1999). Tal fato, sugere que plantas desenvolvidas sob condições de baixa luminosidade apresentam variações no valor nutritivo, em relação àquelas cultivadas a pleno sol (Paciullo *et al.* 2014). Alterações nos teores de PB, FDN, FDA e digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) têm sido evidenciadas. Contudo, os resultados não são conclusivos em razão da alta variabilidade presente entre as condições em que os ensaios são conduzidos (Carvalho *et al.*, 2002; Paciullo *et al.*, 2007).

Na literatura apresenta várias hipóteses para elucidar sobre o teor de proteína bruta (PB) em relação ao efeito positivo do sombreamento sobre a concentração desse nutriente na pastagem (Wilson, 1996; Sousa *et al.*, 2010). Entre os fatores envolvidos, destacam-se a melhora na umidade do solo, degradação da matéria orgânica e reciclagem de nitrogênio no solo, em razão da melhoria das condições microclimáticas. Paciullo *et al.* (2007) evidencia que o maior conteúdo de PB na forragem parece estar relacionado ao aumento do fluxo de nitrogênio nas forrageiras.

Outro aspecto que pode esclarecer essa concentração de PB na pastagem é o desenvolvimento ontogenético das gramíneas forrageiras, um mecanismo de defesa da planta, em que tende a ser fisiologicamente mais jovem, alongando a fase vegetativa, mantendo os níveis metabólicos mais elevados por maior período (Sousa *et al.*, 2010). Além disso, a redução no tamanho das células provocadas pelo sombreamento também pode influenciar positivamente os valores proteicos. Kephart; Buxton (1993) apud Oliveira Neto *et al.* (2010) afirmam que o menor tamanho das células, aliada à mesma quantidade de N por célula, pode ter efeito concentrador de proteína e matéria seca.

Paciullo *et al.* (2016) avaliaram o capim Massai e Tânzania submetidos aos níveis de 0, 37 e 58% de sombreamento artificial e adubados com 50, 100 e 150 kg ha<sup>-1</sup> de N. Foi observado maior concentração de PB no nível de 58% de sombra, independentemente da quantidade de N aplicada, com exceção da dose de 50 kg a qual apresentou teores semelhantes de proteína, 11,2 e 11,7%, nos níveis de 37 e 58% de sombreamento,

respectivamente. Os maiores teores proteicos foram observados no capim Tanzânia (14,1 e 15,9% PB) a 37 e 58% de sombra, se comparado ao capim Massai, no qual o teor superior de proteína (12,9% de PB) foi no nível de sombreamento de 58%.

Reis et al. (2013) avaliando 47 e 53 e 66% de sombreamento artificial sobre a forrageira *Brachiaria brizantha* cv. Marandú adubada com 50; 70 e 100 kg. ha<sup>-1</sup> de N verificaram redução no teor de PB em função do aumento do sombreamento e doses de N indicando que o aumento de N do solo não influenciou a concentração de PB. Todavia, Sousa et al., (2007) avaliando essa forrageira sombreada ou não pela arbórea bolsa-de-pastor (*Zeyheria tuberculosa*) apresentaram valores proteicos similares para as duas condições avaliadas.

Em relação aos teores de FDN e DIVMS os resultados obtidos também são controversos e parecem variar em função do nível de sombreamento e condições climáticas. Paciullo et al. (2007) ao avaliarem a *Brachiaria decumbens* em sombreamento natural por leguminosas ou em pleno sol, encontraram menor concentração de FDN (73,1%) e maior DIVMS (53,2%) para as gramíneas sob a sombra em relação aquelas sob luz solar plena (FDN = 75,9% e DIVMS = 47,6%). Lopes et al. (2017) embora tenham observado redução nos teores de FDN e FDA à medida que aumentaram a restrição luminosa de 20 para 70%, não constataram diferença para DIVMS. Por outro lado, apesar de não encontrarem diferença para o teor de FDN, Moreira et al. (2009) constataram semelhança na DIVMS dessa forrageira ao compararem sistemas arborizados por *Zeyheria tuberculosa* e *Myracrodruon urundeuva* com a forrageira em monocultivo.

O sistema silvipastoril envolve o desenvolvimento de duas ou mais espécies na mesma área, o que torna o sistema de produção mais complexo do que o monocultivo e, conseqüentemente o entendimento das suas exigências e interrelações mais difíceis e específicas.

#### **1.4 Estoque de carbono no solo em sistemas integrados**

Acredita-se que é possível desenvolver agropecuária conservando o meio ambiente com uso de árvores e arbustos de multipropósito em sistemas integrados, conciliar colheitas e gado dentro dos sistemas integrados como uma forma para melhorar a sustentabilidade dos sistemas agrícolas.

Os sistemas agroflorestais ganharam importância como estratégias de mitigação e adaptação em relação às mudanças climáticas em função do enorme potencial que apresentam para estoque de carbono (ECS) (Nair et al., 2011). De acordo com Dixon (1995), se esses sistemas tivessem sido introduzidos na década de 1990 nas áreas para as quais eram recomendados, poderia se ter armazenado anualmente de 1,1 a 2,2 Pg (1Pg = 10<sup>15</sup>g ou 1 bilhão de toneladas) de C, que corresponderia ao total de 10 a 15% das emissões anuais. Ainda segundo o mesmo autor, na referida década na América do Sul, haveria entre 65 a 1.215 milhões de hectares com condições adequadas para implantação dos sistemas agroflorestais.

O incremento de C no solo por meio de sistemas agroflorestais apresenta custo mais baixo, variando entre US\$ 1 a US\$ 69, com média de US\$ 13, em relação a outras formas de

armazenamento, como o desenvolvimento de tecnologias para a substituição de combustíveis fósseis (Dixon, 1995). O C armazenado por meio da introdução de florestas possui um custo de oportunidade de 8 a 16% maior por tonelada armazenada que o armazenado nos sistemas agroflorestais. Isto ocorre por causa da exploração econômica de atividades nos sistemas integrados, que amortizam este custo, principalmente nos primeiros anos de implantação.

O armazenamento de C consiste na remoção de CO<sub>2</sub> da atmosfera e sua manutenção reservatórios de longa vida de C. Tais reservatórios incluem a biomassa da planta acima do solo; biomassa abaixo do solo tais como raízes, microrganismos do solo, à relativas formas estáveis de C orgânico (COS) e inorgânico em solos mais profundos e ambientes subsuperficiais, e os produtos duráveis derivado a partir de biomassa, com grande variação em média 1.500 pentagramas (Pg) nos diversos ambientes do planeta (Scharlemann et al., 2014). O clima, propriedades físico-químicas do solo e tipo de vegetação na cobertura do solo são fatores que contribuem para maior variabilidade no COS.

A literatura sinaliza a proteção do COS como sendo um processo que ocorre via estabilização química por adsorção mineral, por meio de isolamento físico em agregados de solo e pela recalcitrância química da MOS (Tang; Riley, 2015; Graf-Rosenfellner et al., 2016).

Carvalhais et al. (2014) estimam ECS mundiais no solo e fitomassa de aproximadamente 2.807 Pg de C, contudo esse total é dinâmico em função da entrada e emissões de C. Desse total, as florestas tropicais e boreais respondem por 25 e 18%, respectivamente. As savanas e pastagens tropicais correspondem aproximadamente 30% desse total. Estima-se que no solo há um estoque de 2.500 Pg de C acima dos valores na atmosfera (Tarnocai et al., 2009).

May et al. (2010) elucidam que os ECS podem ser comercializados no emergente mercado global de créditos certificados de redução de emissões, podendo ser adquiridos por empresas ou governos para ajudar no cumprimento de suas cotas de reduções ou trocados por direitos às emissões, de modo a contribuir com melhoria da renda e oferecer serviços ambientais ecossistêmicos locais.

Dentro dos sistemas de pesquisa, os agroflorestais conferem destaque no potencial para armazenar C em relação às pastagens monocultivo ou culturas de campo (Lasco et al. 2014; Mowo et al. 2013; Mangalassery et al, 2014).

A quantidade e qualidade da biomassa produzida pelas espécies nos sistemas integrados e as propriedades do solo, tais como estrutura e agregados, influenciam na quantidade de C armazenado. Diversos estudos evidenciam o efeito associativo entre o potencial de estoque de C pelos elevados acúmulos de biomassa forrageira, biomassa florestal, matéria orgânica do solo e maior eficiência de fertilizantes e a capacidade desses sistemas de compensarem as emissões de metano oriundas da fermentação entérica de bovinos (Oliveira et al., 2007; Macedo, 2009; Carvalho et al., 2010).

Ferreira et al (2012 b) avaliando arranjos espaciais em sistema integrado compostos por capim-piatã em consórcio com eucalipto *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, clone H 13, verificaram que o maior número de árvores no arranjo 14 m x 2 m (357 plantas ha<sup>-1</sup>) apresentou maior fixação de 20,09 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de C no solo, que corresponde a 72,32 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de CO<sub>2eq.</sub>, sendo suficiente para neutralizar a emissão de gases de efeito estufa de

38,47 bovinos de corte  $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ , considerando a emissão anual média de um bovino de corte de  $1,88 \text{ t CO}_2\text{eq. ano}^{-1}$ . Com estande de 227 árvores  $\text{ha}^{-1}$ , no arranjo  $22 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ , esses autores verificaram o estoque de carbono no solo foi de  $11,07 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  o que equivale a  $39,88 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  de  $\text{CO}_2\text{eq.}$ , reduzindo a emissão de gases de efeito estufa de 21,21 bovinos de corte  $\text{ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . Concluíram que a densidade de árvores aumenta o potencial de prestação de serviços ambientais em sistemas pastoris, bem como produtividade da madeira.

Verifica-se pelos resultados citados em Nair et al. (2009) que a maioria do C fixado no solo está em perfis de solo mais profundos e o relativamente estável C foram derivados de componentes de árvores (plantas C3) nos sistemas de pastagem e, portanto, estes sistemas integrados tem mais potencial de armazenamento de C em comparação aos outros sistemas sem componente arbóreo.

Nair et al. (2011) constataram, em sistema ILPF, na região do bioma Cerrado, com os componentes eucalipto, culturas de arroz e soja nos primeiros dois anos, seguidos de pastagens de braquiária pastejada por gado de corte a partir do 3º ano de estabelecimento da plantação, quando comparado ao monocultivo florestal ou forrageiro, que o sistema ILPF armazenou maior quantidade de C, tanto na superfície como em subsuperfície.

A estabilização do C do solo por meio de manejo adequado do solo e redução de intervenções de práticas agrícolas tem sido indicada como alternativa de armazenamento de C em longo prazo no solo (Bayer et al., 2011). Os sistemas ILPF sinalizam para um maior manutenção do C no solo, promovendo a redução deste na atmosfera, bem como a diminuição da erosão do solo. Nair et al. (2009) evidenciam a premissa de que a maior eficiência de sistemas integrados no uso dos recursos (nutrientes, luz e água) poderá resultar em maior absorção líquida C. Estes autores estimam que a área atualmente sob sistemas agroflorestais em todo o mundo é 1.023 milhões de ha, e está em pleno crescimento.

Estimativas do potencial C-fixado acima do solo é de 45 a 50% do ramo e 30% de peso seco da folhagem. As estimativas do ECS em sistemas agroflorestais são bastante instáveis, variando de 29 a 15  $\text{Mg ha}^{-1}$ , em razão das características dos sistemas de produção, local, uso da terra, espécies envolvidas, stand, idade, e práticas de gestão (Nair et al., 2009). O solo é considerado o maior reservatório de C orgânico estimado em 2.500 Pg (1 petagrama =  $1,015 \text{ g} = 1 \text{ bilhão de toneladas}$ ), superior em duas vezes a fração na atmosfera (Tarnocai et al., 2009), desempenhando um papel vital no ciclo global do C. O armazenamento de C mundial somando a do solo e fitomassa é de aproximadamente 2.807 Pg de C (Carvalhais et al., 2014). Todavia esse montante é dinâmico em virtude do balanço de captação/emissão de carbono.

Os métodos atualmente utilizados para estimar o ECS em sistemas de produção integrados variam amplamente. Existe uma enorme inconsistência nos conjuntos de dados disponíveis, além disso, as estimativas sugerem várias hipóteses, algumas equivocadas, sendo prováveis resultar mensurações que possam gerar medidas que podem super ou subestimar as estimativas dos parâmetros. Estes problemas metodológicos se devem à natureza complexa dos sistemas integrados, resultando na ausência de metodologia mais refinada e precisa para cálculo das estimativas das quantidades de C armazenado. Portanto, é importante, por meio de mais pesquisas, como esta apresentada para a região sudeste de Minas Gerais, mensurar “adequadamente” o C armazenado no solo em sistemas integrados, a fim de se ter resultados



de serviços ambientais nestes sistemas *in locu.*, já que a literatura sobre o C fixado no solo é, ainda, escassa e inconsistente, sobretudo nestes sistemas.

Ocorre uma diminuição relevante do estoque de carbono do solo sob pastagem degradada quando proveniente de vegetação nativa, enquanto que pastagens bem manejadas promoveram um aumento deste estoque (Maia et al., 2009).

Mosquera et al. (2012) avaliaram ECS na região da Amazônia colombiana, em diferentes sistemas de uso da terra: monocultura (*Brachiaria*), associação (*Brachiaria* + *Arachis pintoii*), banco de forragem (uma mistura de espécies de árvores forrageiras), regeneração natural do pasto em uma área plana e uma inclinada, e uma área de pastagem degradada como referência. Os resultados mostraram que na área de declividade todos os tratamentos apresentaram estoques totais de C superiores ao da pastagem degradada, enquanto na área inclinada, pastos melhorados e banco de forragem aumentaram significativamente (de até 10 ton.ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>).

Klumpp et al., (2009) verificaram que dependendo da intensidade do pastejo, as pastagens diferem em termos de diversidade da comunidade microbiana e armazenamento de carbono do solo. Houve correlação negativa da intensidade de pastejo com a biomassa radicular e com aporte de C pelo solo. Esses autores relataram que o pastejo mais intenso afeta o armazenamento de C, acarreta a diminuição dos fungos do solo, predomínio de bactérias Gram positivas que aceleram a decomposição do COS e diminuem o N disponível, e que esses processos promovem a decomposição e perda de C do solo em sistemas de pastagem mais produtivos e perturbados.

### **1.5 Indicadores microbiológicos da qualidade do solo em sistemas integrados**

O funcionamento do solo, como um complexo e espacialmente estruturado sistema biológico depende da interação de três fatores: ambiente, estrutura da comunidade biológica e atividade biológica (Griffiths et al., 1997).

A abundância microbiana, a composição da comunidade e a atividade são diretamente afetadas pelos fatores abióticos do solo, como a disponibilidade de água e nutrientes e indiretamente afetados pela biomassa e diversidade de plantas (Zak et al., 2003; Clark et al., 2009; Sorensen et al., 2013).

A qualidade do solo é uma parte importante do manejo sustentável de agroecossistema, que é composto de muitos componentes interativos com objetivos múltiplos que confere a sustentabilidade (Kennedy; Shimth, 1995). Os sistemas silvipastoris possibilitam a agregação da sustentabilidade e produtividade em empreendimentos agropecuários, tornando-se uma opção relevante à recuperação de áreas degradadas, otimização das interações biológicas e efeitos sinérgicos entre árvores e cultivos agrícolas e/ou criação de animais, promovendo atividades microbiológicas do solo (Calil et al., 2016).

De modo geral, nos sistemas integrados, os solos apresentam melhorias nos atributos químicos (Iwata et al., 2012), propriedades físicas do solo (Martinkoski et al., 2017), biológicos e na matéria orgânica do solo (Stieven et al., 2014; Souza et al., 2012), oriundas de efeitos sinérgicos decorrentes das interações entre os componentes bióticos e abióticos desses sistemas.

Os atributos biológicos do solo são importantes bioindicadores de propriedades ou bioprocessos biológicos indicam a estabilidade deste ecossistema, podendo ser utilizados no biomonitoramento da qualidade ambiental (Melloni et al., 2008).

A análise dos bioindicadores torna-se relevante em sistemas integrados, principalmente para avaliar sua estabilidade e função desempenhada pelos microrganismos do solo como dinâmica de matéria orgânica, ciclagem e armazenamento de nutrientes, fluxos energéticos, dentre outros (Pezarico 2009). Este autor menciona que tais características podem ser de grande importância na distinção de sistemas que utilizam diferentes práticas de manejo, ou na avaliação precoce de eventuais efeitos adversos do manejo sobre a qualidade biológica do solo, quanto à estrutura da comunidade microbiana, dentre outros.

Foram estabelecidos por Mendes et al., (2015), pela primeira vez, níveis críticos visando contribuir na interpretação de bioindicadores para Latossolos Vermelhos argilosos de Cerrado, com base no rendimento relativo acumulado (RRA) de grãos de soja e milho e no teor de matéria orgânica do solo.

Segundo Pezarico (2013), o uso de indicadores biológicos do solo permite a distinção de sistemas que utilizam diferentes práticas de manejo, ou na avaliação precoce de eventuais efeitos adversos do manejo sobre a qualidade do solo (Qs), embora seja necessário considerar a natureza dinâmica e complexa de cada ecossistema (Dick, 1992). Dentre as características de um bom bioindicador incluem-se a resposta rápida às perturbações do solo, precisão na avaliação de funcionamento de agroecossistemas, capacidade de detectar diferenças espaciais e temporais em função de sistemas de manejo e apresentar custo exequível (Turco et al., 2011).

Assim, a qualidade biológica do solo é uma parte importante do manejo sustentável e, portanto, sua avaliação pode contribuir para identificar práticas que possam ser adaptadas para se tornarem mais sustentáveis.

### ***1.5.1 Atividade enzimática da comunidade microbiana do solo***

Dentre os bioindicadores de qualidade do solo, a atividade enzimática fornece uma avaliação integrada do estado biológico do solo relevante quanto às alterações no fluxo de energia e de carbono no solo, na dinâmica ou ciclagem e disponibilidade de nutrientes às plantas (Moreira; Siqueira 2006; Peixoto et al, 2010; Mulvaney et al. 2010; Duarte et al., 2013). As enzimas envolvidas na dinâmica de nitrogênio (arginase e urease) e de fósforo (fosfatase ácida e alcalina) no ambiente destacam-se principalmente pelo sua precisão, sensibilidade e custo de análises (Peixoto et al., 2010).

A atividade da enzima urease torna-se importante por ser extracelular e responsável pela hidrólise da ureia em CO<sub>2</sub> e amônia. Por outro lado a atividade da arginase depende de células microbiana metabolicamente ativas e relaciona-se com N potencialmente mineralizável no solo. De modo similar, as taxas de fósforo disponível no solo são mediadas pela atividade das enzimas fosfatases, uma vez que maior reserva deste elemento solo encontra-se na forma de P orgânico, particularmente sob vegetação de cerrado (Novais & Smith, 1997, Matos et al., 2006). De modo geral, as determinações enzimáticas no solo são mensuradas em termos de atividades e não de quantidade, por causa da sua baixa

concentração (Lisboa et al. (2012), sendo avaliada através da quantificação do produto gerado após adicionar um substrato específico para cada enzima.

Nos sistemas silvipastoris, a função de comunidades microbianas pode ser afetada direta e indiretamente, pois estes sistemas promovem maior distribuição de carbono e nutrientes ao longo do perfil do solo por causa da estratificação das espécies e diferenciação dos enraizamentos (Wiata et al 2012; Stieven et al. 2014). Assim, Stieven et al. (2014) verificaram que as atividades enzimáticas no sistema ILPF se mantiveram mais estáveis entre os períodos seco e chuvoso, sendo ligeiramente superiores aos demais sistemas de rotação e floresta nativa. O sistema ILPF apresentou impactos positivos na microbiota do solo.

Diversos tipos de resíduos são encontrados nos sistemas integrados, permitem ter as vantagens de um e outro material orgânico depositado sobre a superfície (Duarte et al., 2013). São os microrganismos presentes no solo, via enzimas, que através do processo de transformação da matéria orgânica, catalisam reações e tornam disponíveis vários nutrientes, beneficiando assim as plantas e os microrganismos (Moreira; Siqueira 2006).

Fica evidente a sensibilidade da atividade enzimática com indicador de mudanças no sistema de manejo do solo, antes mesmo que alterações significativas nos teores de MOS sejam detectadas. Embora haja necessidade de mais estudos para eleger potenciais indicadores para avaliar a qualidade dos solos, considerando as peculiaridades dos diferentes sistemas de manejo na região.

### ***1.5.2 Respiração basal do solo***

A emissão de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) dos solos através da respiração do solo é o maior fluxo de carbono terrestre (C) que contribui para o  $\text{CO}_2$  atmosférico (Agnelli et al., 2004). A respiração do solo é muito sensível às mudanças ambientais porque pode ser afetada por uma variedade de fatores, como temperatura do solo, umidade do solo (Davidson et al., 1998), comunidade microbiana, serrapilheira superficial e tipos de vegetação (Yan et al., 2006; Fekete et al. 2014). Uma pequena mudança na respiração do solo pode ter impactos profundos sobre o balanço global C e consequentes feedbacks às mudanças climáticas (Davidson; Janssens, 2006). Portanto, mensuração da respiração do solo em resposta a mudanças ambientais torna-se relevante como fonte de informações sobre a influência do uso da terra na atividade microbiana (Lagomarsino et al.2006).

Mendes et al., (2015) estabeleceram, pela primeira vez, níveis críticos para respiração basal do solo para Latossolos Vermelhos argilosos de Cerrado, na camada de 0–10 cm, com base no teor de MOS, considerado baixos quando menor ou igual a 40, médio entre 41-100 e alto acima de 100 mg de C  $\text{kg}^{-1}$  de solo, esses limites críticos são como valores desejáveis que devem ser mantidos para o funcionamento normal do solo. Segundo estes autores, esses valores citados podem fornecer informações sobre a eficácia dos sistemas de produção e/ou práticas de uso da terra e de seus impactos sobre a QS.

No sistema integração lavoura e pecuária e na mata nativa por Floresta Semidecídua no Mato Grosso do Sul, demonstrou alterações na RBS Ono et al. (2015) que estimaram valores mais elevados de apresentando condições similares entre si, sendo superiores aos demais sistemas de manejo avaliados.

A alta taxa de respiração pode ser interpretada como uma característica desejável, visto que a decomposição dos resíduos orgânicos irá disponibilizar nutrientes para as plantas, ou ainda, como um indicativo de estresse sobre a biomassa microbiana pela perturbação no solo (Colman et al., 2013).

A transferência de CO<sub>2</sub>, via respiração do solo, representa a maior perda de carbono em solo sob biomas florestais. Entretanto, com cautela deve ser a interpretação dos dados de respiração, uma vez que o incremento na atividade respiratória pode ser em virtude da alta produtividade de um determinado ecossistema, assim, como pelo estresse advindo de distúrbios ambientais (Silva et al., 2007).

### **1.5.3 Diversidade metabólica da microbiota do solo**

O desenvolvimento de novas técnicas, incluindo métodos metabólicos e moleculares como novas abordagens experimentais e de modelagem, levaram a um renascimento da pesquisa de biodiversidade do solo.

A introdução da técnica de *fingiprint* (diversidade) metabólico desenvolvido inicialmente, para identificação de microrganismo, tem contribuído amplamente para o avanço do conhecimento da função da comunidade microbiana do solo sobre diferentes agroecossistemas (Garland; Mills, 1991; Dick et al, 1992; Zak et al., 1994).

Este método “Biolog” fundamenta-se na habilidade de microrganismos em utilizar e oxidar diferentes fontes de C utilizadas pelas bactérias e produz um padrão metabólico, e o resultados positivo é indicado pela coloração arroxeadada na cavidade da placa em função da presença de tetrazólito. A leitura colorimétrica permite estimar a atividade total, índice de Shannon, equidade e riqueza de substrato. E, refletem número, tipo e taxa de microrganismos, que variam em função da diversidade genética e dos efeitos ambientais na expressão gênica e das interações ecológicas entre as diferentes populações (Zak et al., 1994).

Dentre as vantagens desse método salienta-se por possuir uma alta sensibilidade e resolução, permite a obtenção da impressão digital das características metabólicas originais das comunidades de microrganismos, e ainda é um teste rápido e eficiente na avaliação do perfil metabólico (Donegan et al., 1995; Griffiths et al., 2000).

Alguns trabalhos conduzidos sob ILP demonstram que a diversidade metabólica altera em virtude da cobertura vegetal, manejo de pastagem e pelas intensidades de pastejo. Chávez et al. (2011) com microplacas BiologEcoPlate pelo índice de diversidade de Shannon (H) em sistema ILP em plantio direto, sob diferentes intensidades de pastejo em sistema de ILP em plantio direto verificaram maior diversidade funcional obtida a intensidades moderadas de pastejo (20 a 40 cm) e a maior atividade ocorreu no tratamento sem pastejo, em consequência da grande quantidade de resíduos vegetais remanescentes.

A diversidade funcional permite maior compreensão do papel funcional da comunidade microbiana, e estabilidade e sustentabilidade dos agroecossistemas (Tótola; Chaer, 2002).

#### ***1.5.4 Diversidade genética da microbiota do solo***

Dentre as novas técnicas, os métodos independentes de cultivo baseados em ácido nucleico, com base em pequenas sequências de rRNA de subunidade (RNAr de SSU) por amplificação por PCR acoplada a análises de fragmentos de rDNA por abordagens genéticas de impressão digital (por exemplo, DGGE, TGGE, ARDRA, SSCP), são considerados os mais precisos para avaliar a composição e estrutura das comunidades microbianas do solo (Nannipieri et al., 2003).

No caso da Eletroforese em gel de gradiente de desnaturação e temperatura (DGGE, TGGE), essas técnicas são simples e rápidas, e podem ser usadas para detectar facilmente alterações na composição da microflora do solo (Heuer et al., 2001). Embora a avaliação da diversidade fúngica que inicialmente era prejudicada pela co-amplificação de DNA de outros organismos eucarióticos tais como plantas, algas e nematoides (Kowalchuk et al., 1997), atualmente essa limitação foi superada pelos primers específicos que estão disponíveis para o DNAr do fungo 18S (Kowalchuk, 1999).

A técnica molecular de DGGE (Denaturing Gradient Gel Electrophoresis) baseia-se na separação e migrações de fragmentos de DNA de mesmo tamanho, mas com sequências de bases nucleotídicas diferentes, gerando perfil genético da amostra. E atribuiu um potencial de adoção em ecologia microbiana para definir a diversidade genética de comunidades microbianas (Muyzer et al., 1993), pesquisas de estrutura genética de grupos funcionais (Griffiths et al., 2000), dinâmica de população de bactérias e estudo do efeito ambiental na comunidade do solo (Engelen et al., 1998).

Os sistemas integrados de espécies em mesma área têm contribuído para a manutenção da variabilidade genética proporcionando detecção da diversidade dentro dos grupos funcionais de microrganismos do solo.

Os melhores indicadores de qualidade de solo poderão ser encontrados entre as atividades microbiológicas menos redundantes, como as técnicas moleculares, havendo necessidade de estudos detalhados sobre os grupos de microrganismos associados a essas atividades (Lambais et al. 2005).

Embora, ainda demandam maior entendimento de práticas de manejo adequada para sistemas integrados e necessitam mais estudos referente as informações relativas à aspectos biológicos nesses sistemas visando estimar a diversidade metabólica, genética e atividade microbiana no solo para entender o funcionamento dos processos e papel desses microrganismos no solo nestes sistemas.

Com uso de ferramentas moleculares como DGGE permite presumir quanto às mudanças da QS ou alterações em resposta a modificações no ambiente a fim de garantir a sustentabilidade dos sistemas integrados de produção. Nesse sentido, em razão da escassez de informações sobre a diversidade metabólica e genética dos microrganismos em solos tropicais sob sistemas integrados, essa pesquisa poderá trazer contribuições relevantes para a avaliação da QS nestes sistemas.

## 1.7 Referências

- ABRAHAM, E.M., KYRIAZOPOULOS, A.P.; PARISSI, Z.M. et al. Growth, dry matter production, phenotypic plasticity, and nutritive value of three natural populations of *Dactylis glomerata* L. under various shading treatments. *Agroforestry systems*, v.88, p. 287-299, 2014.
- ALMEIDA, R. G. de; COSTA, J. A. A. da; KICHEL, A. N. Taxas e métodos de semeadura para *Brachiaria brizantha* cv. BRS Piatã em safrinha, Comunicado técnico Embrapa Gado de Corte, 113, 2009. DOI 10.13140/2.1.2960.9281
- ALVARENGUA, R. C.; GONTIJO NETO, M. M. INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS NOS SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA iLPF. In: VIII Simpósio de Produção de Gado de Corte, p. 267-276, 2012.
- ANDRADE, C. M. S.; ASSIS, G. M. L. *Brachiaria brizantha* cv. Piatã: Gramínea Recomendada para Solos Bem-drenados do Acre. *Circular Técnica* 54. ISSN 0100-9915. Rio Branco, AC Junho, 2010.
- ARAÚJO FILHO, J. A. de ; CAMPANHA, M. M.; FRANÇA, F. M. C. F.; SILVAN, N. L. S. da; SOUSA NETO, J. M. Sistema de Produção Agrossilvipastoril no Seminário do Ceará. In: 2nd International Conference: Climate, Sustainability and Development in Semi-arid Regions, 2010, Fortaleza, Brasil. *Sistema de Produção Agrossilvipastoril no Semiárido do Ceará*. 2010. 17p.
- BALBINOT JUNIOR, A. A.; MORAES, A. DE; VEIGA, M. da; PELISSARI, A.; DIECKOW, J. Integração lavoura-pecuária: intensificação de uso de áreas agrícolas. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.39, n.6, p.1925-1933, set, 2009 ISSN 0103-8478
- BALBINO, L. C.; CORDEIRO, L. A. M.; OLIVEIRA, P. de; KLUTHCOUSKI, J.; GALERANI, P. R.; VILELA, L. Agricultura sustentável por meio da integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF). *Informações Agronômicas*. n. 138, junho 2012
- BALOTA, E.L., CALEGARI, A., NAKATANI, A.S., COYNE, M.S. Benefits of winter cover crops and no-tillage for microbial parameters in a Brazilian Oxisol: A long-term study. *Agric. Ecosyst. Environ.* v.197, p. 31–40, 2014. doi:10.1016/j.agee.2014.07.010
- BARRO, R. S.; SAIBRO, J. C. de; MEDEIROS, R. B. de; SILVA, J. L. S. da; VARELLA, A. C. Rendimento de forragem e valor nutritivo de gramíneas anuais de estação fria submetidas a sombreamento por *Pinus elliottii* e ao sol pleno. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.37, n.10, p.1721-1727, 2008.
- BAZILL, J.A.E. Evaluation of tropical forage legumes under *Pinus caribea* var. *hondurensis* in Turrialba, Costa Rica. *Agroforestry Systems*, v.5, p.97-108, 1987.

BAYER, C.; AMADO, T. J. C.; TORNQUIST, C. G.; CERRI, C. E. C.; DIECKOW, J.; ZANATTA, J. A.; NICOLOSO, R. da S. Estabilização do carbono no solo e mitigação das emissões de gases de efeito estufa na agricultura conservacionista *Tópicos Ciência do Solo*, v.7, p. 55-118, 2011.

BRASIL. Decreto n.7390, de 9 de dezembro de 2010. Que institui a política nacional sobre mudança do clima – PNMC, e dá outras providências. *Diário Oficial, Brasília, Diário Oficial, Brasília*, p. 4, 10 de dez de 2010.

CALIL, F. N.; LIMA, N. L.; SILVA, R. T.; M. MORAES, D. A. de; BARBOSA, P. V. G.; LIMA, P. A. F.; BRANDÃO, D. C.; C. SILVA-NETO, de M.; CARVALHO, H. C. de S.; NASCIMENTO, A. dos R. Biomass and nutrition stock of grassland and accumulated litter in a silvopastoral system with Cerrado species. *African Journal of Agricultural Research*. v.11, n.38, p. 3701-3709, 2016 DOI: 10.5897/AJAR2016.11369

CARVALHAIS, N.; FORKEL, M.; KHOMIK, M. et al. Global covariation of carbono turnover times with climate in terrestrial ecosystems. *Nature*, v.514, n. 7521, p. 213-217, 2014.

CARVALHO, M.M.; FREITAS, V.P.; XAVIER, D.F. Início de florescimento, produção e valor nutritivo de gramíneas forrageiras tropicais sob condição de sombreamento natural. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.37, n.5, p. 717-722, 2002.

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

CARVALHO, P. C. de F.; MORAES, A. de; PONTES, L. da S.; ANGHINONI, I.; SULC R. M.; BATELLO, C. Definições e terminologias para Sistema Integrado de Produção Agropecuária. *Revista Ciência Agronômica*, v. 45, n. 5 (Especial), p. 1040-1046, 2014. ISSN 1806-6690

CASTRO, C. R. T.; Garcia, R.; Carvalho, M. M.; Couto, L. Produção forrageira de gramíneas cultivadas sob luminosidade reduzida. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, MG, v. 28, n. 5, p. 919 -927, set./out. 1999.

CERRI, C.C. Tropical agriculture and global warming: impacts and mitigation options. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 64, n. 1, p. 83-99, 2007.

COELHO, Felipe Soares. *Comportamento de pastejo e ganho de peso de bezerras Nelore em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta*. 2011. 18 p. Dissertação (Mestrado)

Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2011.

COLMAN, B. A.; SALTON, J. C.; MERCANTE, F. M. Indicadores microbiológicos para avaliação da qualidade do solo em diferentes sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO*, 34, 2013, Florianópolis. Ciência do solo: para quê e para quem: anais. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2013.

CORDEIRO, L. A. M.; ROBÉLIO, L. V.; MARCHÃO, 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*, Brasília, v. 32, n. 1/2, p. 15-53, jan./ago. 2015.

COSTA, S. B. D. M.; DE MELO, A. C.; DUBEUX, J. C. et al. Livestock Performance in Warm-Climate Silvopastures Using Tree Legumes. *Agron J.*, v.108, n.5, p. 2026-2035, 2016. DOI:10.2134/agronj2016.03.0180

CRESTANI S. Respostas morfogênicas e dinâmica da população de perfilhos e touceiras em *Brachiarai brizantha* cv. Piatã submetida a regimes de sombra em área de integração lavoura-pecuária-floresta. Tese (Doutorado em Ciências), Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2015, 101 p.

CLARK, J. S.; CAMPBELL, J. H.; GRIZZLE, H.; ACOSTA-MARTINEZ, V.; ZAK, J. C. Soil microbial community response to drought and precipitation variability in the Chihuahuan Desert. *Microb Ecol*, v.57, p. 248–260, 2009.

DAVIDSON, E. A., BELK, E. & BOONE, R. D. Soil water content and temperature as independent or confounded factors controlling soil respiration in a temperate mixed hardwood forest. *Global Change Biol.* 4, 217–227 (1998).

DAVIDSON, E. A. & JANSSENS, I. A. Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. *Nature* 440, 165–173 (2006).

DE - POLLI, H.; PIMENTEL, M. S. Indicadores de qualidade do solo. *In: AQUINO, ADRIANA MARIA; ASSIS, RENATO LINHARES* (eds.). Processos biológicos no sistema solo-planta: ferramentas para uma agricultura sustentável. Brasília - DF: Embrapa, p. 17-28. 2005.

DETMANN, E.; PAULINO, M.F., VALADARES FILHO, S.C. Avaliação nutricional de alimentos ou de dietas. Uma abordagem conceitual. Uma abordagem conceitual. *In: SIMPÓSIO DE PRODUÇÃO DE GADO DE CORTE*, 6, 2008, Viçosa. *Anais...* Viçosa: DZO-UFV. p. 21-52. 2008.



DIAS-FILHO, M. B.; FERREIRA, J. N. Barreiras para a adoção de sistemas silvipastoris. In: EVANGELISTA, A. R.; TAVARES, V. B.; MEDEIROS, L. T.; VALERIANO, A.R. (Eds.) Simpósio de Forragicultura e Pastagens: temas em evidência - relação custo benefício, 6. Lavras, *Anais...* Lavras: NEFOR: UFLA, p. 347-365, 2007.

DICK, R. P. A review: long-term effects of agricultural systems on soil biochemical and microbial parameters. *Agricultural Ecosystems Environmental*, v. 40, p. 25-36, 1992

DIXON, R.K. Agroforestry: sources or sinks of greenhouse gases? *Agroforestry Systems*, v.31, p.99-116, 1995.

DONEGAN, K.K.; PALM, C.J.; FIELAND, V.J.; PORTEOUS, L.A.; GANIO, L.M.; SCHALLER, D.L.; BUCAO, L.Q.; SEIDLER, R.J. Changes in levels, species and DNA fingerprints of soil microorganisms associated with cotton expressing the *Bacillus thuringiensis* var. kurtaki endotoxin. *Applied Soil Ecology*, v.2, p.111-124, 1995.

DUARTE, G. E. M.; CARDOSO, I. M.; STIJNEN, T.; MEDOÇA, M. A. F. C., COELHO, M. S., CANTARUTTI, R. B.; KUYPER, T. W.; VILLANI, E. M. A.; MENDONÇA, E. S. Decomposition and nutrient release in leaves of Atlantic Rainforest tree species used in agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, v.87, p. 835–847, 2013.

EMBRAPA, *BRS Piatã - Brachiaria brizantha*. Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte, 2014. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/865/brachiaria-brizantha---brs-piata>. Acesso em 01 de novembro de 2017.

EMBRAPA, *ILPF em números*. Sinop, MT: Embrapa, 2016. 12p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/158636/1/2016-cpamt-ilpf-em-numeros.pdf>. Acesso em 02 de fevereiro de 2018.

ENGELN, B.; MEINKEN, K.; VON WINTZINGERODE, F.; HEUER, H.; MALKOMES, H. P.; BACKHAUS, H. Monitoring impact of a pesticide treatment on bacterial soil communities by metabolic and genetic fingerprinting in addition to conventional testing procedures. *Applied and Environmental Microbiology*, Washington, v. 64, n. 8, p. 2814-2821, 1998.

EUCLIDES, V. P. B. E.; MACEDO, M. C. M.; VALLE, C. B. dos; DIFANTE, G. dos S.; BARBOSA, G. dos S.; BARBOSA, R. A.; CACERE, E. R. Valor nutritivo da forragem e produção animal em pastagens de *Brachiaria brizantha*. *Pesquisa agropecuária brasileira*, Brasília, v.44, n.1, p.98-106, jan. 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/pab/v44n1/14.pdf> Acesso em: 24 de julho de 2017.

FADL, K. E. M.; MAHMOUND, S. E.; HAMAD, Z. M. Farmers perceptions towards agroforestry systems in north and South kordofan stats, Sudan. *International Journal of Environment*. v. 4, 2015.

FAGUNDES, J.L.; da SILVA, S.C.; PEDREIRA, C.G.S.; SBRISSIA, A.F.; CARNEVALLI, R.A.; de CARVALHO, C.A.B.; PINTO, L.F.M.. Índice de área foliar, interceptação luminosa e acúmulo de forragens em pastagens de *Cynodon* spp. sob diferentes intensidades de pastejo. *Scientia Agricola*, v.56, n.4, p.1141-1150, out./dez. 1999. Suplemento

FAO. *Harmonized World Soil Database* (Version 1.1). FAO, Rome, Italy: International Institute for Applied Systems Analysis, 2009. Disponível em: <<http://www.fao.gov>> Acesso: 16 set. 2016.

FERREIRA, A. D.; ALMEIDA, R. G. de; MACEDO, M. C. M.; LAURA, V. A.; BUNGENSTAB, D. J.; MELOTTO, A. M. Arranjos espaciais sobre a produtividade e o potencial de prestação de serviços ambientais do eucalipto em sistemas integrados. 2012. In: VII Congresso Latinoamericano de Sistemas Agroflorestais para a Produção Pecuária Sustentável. Sistemas silvipastoris, o caminho para a economia verde na pecuária mundial. v. p. 497-501, 2012 a. ISSN 2238-457X

FERREIRA, A. L.; MAURÍCIO, R. M.; PEREIRA, L. G. R.; AZEVÊDO, J. A. G.; OLIVEIRA, L. S.; PEREIRA, J. M. Nutritional divergence in genotypes of forage peanut. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v.41, p.856-863, 2012 b.

FEKETE, I.; KOTROCZÓ, Z.; VARGA, CSABA; P. TAMÁSNAGY; GÁBORVÁRBÍRÓ; RICHARD D.BOWDEN; JÁNOS ATTILATÓTH; KATELAJTHA. Alterations in forest detritus inputs influence soil carbon concentration and soil respiration in a Central-European deciduous forest. *Soil Biol. Biochem*. v.74, p. 106–114, 2014.

FONSECA, D. M.; MARTUSCELLO, J. A.; FARIA, D. J. G. Adubação em gramíneas do gênero *Bracharia*: mitos e realidades In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO ESTRATÉGICO DAS PASTAGENS, 3., 2006, Viçosa, MG. *Anais...* Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, p. 153-182, 2006.

GALDINO S., SANO E.E., ANDRADE R.G., GREGO C.R., NOGUEIRA S.F. and BRAGANTINI C. Large-scale modeling of soil erosion with rusle for conservationist planning of degraded cultivated Brazilian pastures. *Land Degradation; Development*, v.27, p.773–784, 2016. DOI: 10.1002/ldr.2414

GARCIA, R.; QUEIROZ, D. S. *Manejo do Rebanho em sistemas silvipastoris*. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 33, n.266, p. 92-101, jan./fev. 2012. ISSN 0100-3364

GARLAND, J. L.; MILLS, A.L. Classification and characterization of heterotrophic microbial communities on the basis of patterns of community-level-sole-carbon-source-utilization. *Applied and Environmental Microbiology*, 57:2351-2359. 1991.

GUENNI O., SEITER S. and FIGUEROA R. Growth responses of three *Brachiaria* species to light intensity and nitrogen supply. *Tropical Grasslands*, v.42, p. 75–87. 2008.

GOBBI, K. F.; GARCIA, R.; GARCEZ NETO, A. F.; PEREIRA, O. G.; ROCHA, G. C. Valor nutritivo do capim-braquiária e do amendoim forrageiro submetidos ao sombreamento. *Arquivo Zootecnia*, v. 59: p. 379-390. 2010.

GOBBI, K. F.; GARCIA, R.; GARCEZ NETO, A. F.; PEREIRA, O. G.; VENTRELLA, M. C.; ROCHA, G. C. Características morfológicas, estruturais e produtividade do capim-braquiária e do amendoim forrageiro submetidos ao sombreamento. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.38, n.9, p.1645-1654, 2009.

GOMEZ, E.; GARLAND, J.; CONTI, M. Reproducibility in the response of soil bacterial community-level physiological profiles from a land use intensification gradient. *Applied Soil Ecology*, v.26, p.21-30, 2004.

GRAF-ROSENFELLNER, M.; CIERJACKS, A.; KLEINSCHMIT, B.; LANG, F. Soil formation and its implications for stabilization of soil organic matter in the riparian zone. *Catena*, v.139, p. 9-18, 2016.

GRAYSTON, S. J.; JONES, D. V. D. Rhizosphere carbon flow in trees, in comparison with an annual plant: the importance of root exudation and its impact on microbial activity and nutrient availability. *Applied Soil Ecology*, Amsterdam, v. 5, n. 1, p. 2956, 1996.

GRIFFITHS, B.S.; GEOGHEGAN, I.; ROBERTSON, W. M. Testing genetically engineered potato, producing the lectins GNA and ConA, on non-target soil organisms and processes. *Journal of Applied Ecology*, v.37, p.159-170, 2000.

IBGE. Sistema IBGE de recuperação automática, *SIDRA*. 2016. Disponível em <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pecua>> Acesso em: 16 out. 2016.

IWATA, B. F.; LEITE, L. F. C.; ARAÚJO, A. S. F.; NUNES, L. A. P. L.; GEHRING, C.; CAMPOS, L. P. Sistemas agroflorestais e seus efeitos sobre os atributos químicos em Argissolo Vermelho-Amarelo do Cerrado piauiense. *Revista brasileira engenharia agrícola e ambiental*, v.16, 2012.

KLUMPP, K.; FONTAINE, S.; ATTARD, E. et al. Grazing triggers soil carbon loss by altering plant roots and their control on soil microbial community. *J. Ecol.*, v.97, p.876–885, 2009.

LAMBAIS, M. R.; CURY, J. de C.; MALUCHE-BARETTA, C. R.; BÜLL, R. de C. Diversidade microbiana nos solos: definindo novos paradigmas. *Tópicos de Ciência do Solo*, v. 4, p. 43-84, 2005.

LASCO, R. D.; DELFINO, R. J. P.; CATA CUTAN, D. C. et al. Climate risk adaptation by smallholder farmers: the roles of trees and agroforestry. *Curr Opin Environ Sustain.*, v.6, p. 83-88, 2014.

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

LOPES, C. M.; PACIULLO, D. S. C.; ARAÚJO, S. A. C.; GOMIDE, C. A. M.; MORENZ, M. J. F.; VILLELA, S. D. J. Massa de forragem, composição morfológica e valor nutritivo de capim-braquiária submetido a níveis de sombreamento e fertilização. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v. 69, n. 1, p. 225 -233, 2017.

LUPATINI, G. C. *Produção, características morfológicas e valor nutritivo de cultivares de Brachiaria brizantha submetidas a duas alturas de resíduo*. Tese (Doutorado em Zootecnia) Universidade Estadual Paulista. Botucatu: Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia; 2010. 64 f.

MACEDO, M. C. M. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 38, p. 133-146, 2009.

MACHADO, V. D. Estratégias de manejo do pastejo do Capim-braquiária em sistema silvipastoril. 2016. Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa. Programa de Pós-graduação em Zootecnia. Viçosa, MG, 2016, 75f.

MAIA, M. F.; OGLE, S. M.; CERRI, C. E. P.; CERRI, C. C. Effect of grassland management on soil carbon sequestration in Rondônia and Mato Grosso states, Brazil. *Geoderma*, v.149, p. 84–91, 2009.

MANGALASSERY, S.; MEENA, D. D. S. L.; RAM, B. Carbon sequestration in agroforestry and pasture systems in arid northwestern Indian. *Current Science.*, v. 107, n.8, p.1290-1293, 2014.

MARTINKOSKI, L.; VOGEL, G. F.; JADOSKI, S. O.; WATZLAWICK, L. F. Qualidade Física do Solo Sob Manejo Silvopastoril e Floresta Secundária. *Floresta e Ambiente*, v.24, 2017, <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.028216>

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*, Viçosa, v. 38, n.7 p. 1183-1190, 2009.

MATOS, E. da S.; MENDONÇA, E. de S.; VILLANI, E. M. de A.; LEITE, L. F. C.; GALVÃO, J. C. C. Formas de fósforo no solo em sistemas de milho exclusivo e consorciado com feijão sob adubação orgânica e mineral, *Revista Brasileira Ciência do Solo*, 30:625-632, 2006.

MAY, P. H.; BOHRER, C. B.; TANIZAKI, K.; DUBOIS, J. C. L.; LANDI, M. P. M.; CAMPAGNANI, S.; OLIVEIRA NETO, S. N.; VINHA, V. G. Sistemas agroflorestais e reflorestamento para captura de carbono e geração de renda. In: Encontro da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica - ECOECO, 6., Brasília, 2005. *Anais...* Brasília, 2005. p. 1-33.  
Disponível em:  
[http://www.ecoeco.org.br/conteudo/publicacoes/encontros/vi\\_en/artigos/topicos\\_mesa2.htm](http://www.ecoeco.org.br/conteudo/publicacoes/encontros/vi_en/artigos/topicos_mesa2.htm).  
Acesso em: 04/11/2017.

MELLONI, R.; MELLONI, E. G. P.; ALVARENGA, M. I. N.; VIEIRA, F. B. N. Avaliação da qualidade de solos sob diferentes coberturas florestais e de pastagem no sul de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p. 2461-2470, 2008.  
<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000600023>

MOSQUERA, O.; BUURMAN, P.; RAMIREZ, B. L.; AMEZQUITA, M. C; 2012. Mudança de carbono e mudanças de estabilidade em experiências silvo-pastorais de curto prazo na Amazônia colombiana. *Geoderma*, v.170, p. 56-63.  
DOI:<https://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2011.09.016>

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. *Microbiologia e bioquímica do solo*. Lavras: UFLA, 2006.

MOREIRA, G. R.; SALIBA, E. O. S.; MAURÍCIO, R. M.; SOUSA, L. F.; FIGUEIREDO, M. P.; GONÇALVES, L. C.; RODRIGUEZ, N. M. Avaliação da *Brachiaria brizantha* cv. Marandú em sistemas silvipastoris. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v. 61, n. 3, p. 706-713, 2009.

MOWO, J.; BISHAW, B.; ABDELKADIR, A. Agroforestry in Kenya and Ethiopia. In.: BISHAW, B.; NEUFELDT, H. MOWO, J. et al. *Farmers' strategies for adapting to and mitigating climate variability and change through agroforestry in Ethiopia and Kenya*. *Forestry*, Oregon, Corvallis: Oregon State University, p. 39-42, 2013.

MILITÃO, É. R. *Microclima e qualidade de forragens em sistema silvipastoril agroecológico em função do tempo de repouso do pastejo e sombreamento*. Dissertação (Mestrado) -

Universidade Tecnológica, Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Dois Vizinhos, 2017. 74f.:il.

MULVANEY, M. J.; WOOD, C. W.; BALKCOM, K. S.; SHANNON, D. A.; KEMBLE, J. M. Carbon and Nitrogen Mineralization and Persistence of Organic Residues under Conservation and Conventional Tillage, *Agronomy Journal*, v.102, n. 5, p.1425-1433, 2010.

MUYZER, G.; SMALLA, K. Application of denaturing gel electrophoresis (DGGE) and temperature gradient gel electrophoresis (TGGE) in microbial ecology. *Antonie van Leeuwenhoek*, Dordrecht, v. 73, n. 1, p. 127-141, Jan. 1998.

MUYZER, G., DE WAAL, E.C.; UITTERLINDEN, A.G. Profiling of complex microbial populations by denaturing gradient gel electrophoresis analysis of polymerase chain reaction-amplified genes coding for 16S rRNA. *Appl Environ Microbiol.* March; v. 59, n. 3, p. 695-700, 1993.

NAIR, P. K. R. (Ed.). *Carbon sequestration potencial of Agroforestry System: opportunities na challenges*. Lodon: New York: Springer, p. 145-162. 2011.

NAIR, P.K.R.; KUMAR, B.M.; NAIR, V.D. Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. *J. Soil Sci. Plant Nutr.*, v.172, p.10–23, 2009. DOI: 10.1002/jpln.200800030

HEUER, H., WIELAND, G., SCHONFELD, J., SCHNWALDER, A., GOMES, N.C.M., SMALLA, K. Bacterial community profiling using DGGE or TGGE analysis. In: Rochelle, P.A. (Ed.), *Environmental Molecular Micro-biology: Protocols and Applications*. Horizon Scientific Press, *Wymondham*, UK, pp. 177 – 190, 2001.

NANNIPIERI, P., ASCHER, J., CECCHERINI, M.T., LANDI, L., PIETRAMELLARA, G., RENELLA, G. Microbial diversity and soil functions. *European Journal of Soil Science*, v. 54, 655 – 670, 2003.

KOWALCHUK, G. Fungal community analysis using denaturing gradient gel electrophoresis (DGGE). In: Akkermans, A.D.L., van Elas, J.D., De Brin, F.J. (Eds.), *Molecular Microbial Ecology Manual*, Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, vol. 3.4.6, p. 1 – 16, 1999.

NANTES, N. N.; EUCLIDES, V. P. B.; MONTAGNER, D. B.; LEMPP, B.; BARBOSA, R. A.; GOIS, P. O. de. Desempenho animal e características de pastos de capim-piatã submetidos a diferentes intensidades de pastejo. *Pesquisa Agropecuária brasileira*, Brasília, v.48, n.1, p.114-121, jan. 2013. DOI: 10.1590/S0100-204X2013000100015

NEVES NETO, D. N.; SANTOS, A. C.; ALEXANDRINO, E.; PERLON, M. S. Características morfogênicas e estruturais de *Urochloa* spp. sob manejo convencional e consorciado com cereais. *Revista Ciência Agronômica*, v. 46, n. 1, p. 204-215, 2015.

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=195332578024>. Acesso em 24 de julho de 2017.

OLIVEIRA JÚNIOR, O. L.; CARNEVALLI, R. A.; PERES, A. A. C.; REIS, J. C.; MORAES, M. C. M. M.; E PEDREIRA, B. C. Análise econômico-financeira de sistemas integrados para a produção de novilhas leiteiras. *Arch. Zootec.* v. 65, n. 250, p. 203-212. 2016. Disponível em: Acesso em 06 de janeiro de 2018.

OLIVEIRA NETO, S. N. de ... (et al.) organizador. Sistema Agrossilvipastoril: integração lavoura, pecuária e floresta – Viçosa, MG : Sociedade de Investigações Florestais, 2010. 190p. ISBN 978-85-89119-05-4

OLIVEIRA, T.K.; MACEDO, R.L.G.; SANTOS, I.P.A. et al. Produtividade de *Brachiaria brizantha* (Hochst, ex A. Rich.) Stapf cv. Marandu sob diferentes arranjos estruturais de sistema agrossilvipastoril com eucalipto. *Ciênc. Agrotec.*, Lavras, v. 31, n.3, p. 748-757, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/cagro/v31n3/a22v31n3.pdf>. Acesso em 13 de outubro de 2017.

ONO, R. Y.; RIBEIRO, I. dos S.; AGOSTINHO, P. R.; MERCANTE, F. M. Indicadores microbiológicos para aferição da qualidade de solo em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta *In: XXXV Congresso brasileiro de ciência do solo: O solo e suas múltiplas funções*, 36., 2015, Natal, RN: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015.

PACIULLO, D.S.C.; CARVALHO, C.A.B.; AROEIRA, L.J.M.; MORENZ, M.J.F.; LOPES, F.C.F.; ROSSIELLO, R.O.P. Morfofisiologia e valor nutritivo do capim-braquiária sob sombreamento natural e a sol pleno. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 42, n. 4, p.573-579, 2007.

PACIULLO, D.S.C.; FERNANDES, P.B.; GOMIDE, C.A.M. et al. The growth dynamics in *Brachiaria* species according to nitrogen dose and shade. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.40, n.02, p.270-276, 2011a.

PACIULLO, D.S.C.; GOMIDE, C.A.M.; CASTRO, C. R. T.; FERNANDES, P. B.; MÜLLER, M. D.; PIRES, M. DE F. Á.; FERNANDES, E. N.; XAVIER, D. F. Características produtivas e nutricionais do pasto em sistemas agrossilvipastoril, conforme a distância das árvores. *Pesq Agropecuária Brasileira*, v. 46, n. 10, p. 1176-1183, 2011 b.

PACIULLO, D.S.C.; PIRES, M.F.A.; AROEIRA, L.J.M.; MORENZ, M.J.F.; MAURICIO, R.M.; GOMIDE, C.A.M. Sward characteristics and performance of dairy cows in organic grass-legume pastures shaded by tropical trees. *Animal*, v.8, p.1264-1271, 2014.

PARIZ, C. M.; ANDREOTTI, M.; AZENHA, M. V.; BERGAMASCHINE, A. F.; MELLO, L. M. M.; LIMA, R. C. Produtividade de grãos de milho e massa seca de braquiárias em

consórcio no sistema de integração lavoura-pecuária. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 41, n. 5, p. 875-882, 2011.

PASTAL, D.; CRISTO, A. B. de; FUJISAWA, F. M.; MAIER, G. S.; GUIRRO, E. C. B. do P. Papel do sombreamento no conforto térmico de vacas leiteiras criadas a pasto – revisão de literatura. *Veterinária em Foco*, v.12, n.2, jan./jun. 2015. ISSN 1679-5237. Disponível em: <<http://revistas.bvs-vet.org.br/vetfoco/article/view/32947/36670>>. Acesso em: 16 jan. 2018.

PEIXOTO, R.S.; CHAER, G.M.; FRANCO, N.; REIS JUNIOR, F.B.; MENDES, I.C. & ROSADO, A.S. A decade of land use contributes to changes in the chemistry, biochemistry and bacterial community structures of soils in the Cerrado. *Antonie van Leeuwenhoek*, v. 98, p. 403-413, 2010.

PEREIRA, A. C. M.; ALMEIDA, J. C. C. de; MOREIRA, T. G. B.; ZANELLA, P. G.; CARVALHO, C. A. B. de; MORAIS, L. F. de; SOARES, F. A.; LIMA, M. A. Avaliação do componente arbóreo e forrageiro de sistemas silvipastoris na mesorregião dos "campos das vertentes" de Minas Gerais. *Revista Brasília de Agropecuária Sustentável*, v.5, n.1., p.66-77, Julio, 2015. DOI: 10.21206/rbas.v5i1.317

PERI, P.L., LUCAS, R.J.; MOOT, D.J. Dry matter production, morphology and nutritive value of *Dactylis glomerata* growing under different light regimes. *Agroforest Systems*, v.70 p. 63, 2007. DOI:10.1007/s10457-007-9029-x

PEZARICO C.R., VITORINO A.C.T., MERCANTE F.M. and DANIEL O. Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais. *Revista Ciências Agrárias*, v. 56, n.1, p. 40–47, 2013. DOI: 10.4322/rca.2013.004

PEZZOPANE, C. DE G.; SANTOS, P. M.; CRUZ, P. G.da; RIBEIRO, J. A. F. A.; VALLE, C. B. do Estresse por deficiência hídrica em genótipos de *Brachiaria brizantha* Hydric deficiency in genotypes of *Brachiaria brizantha*. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.45, n.5, p.871-876, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20130915>

QUINTINO, A. C.; ALMEIDA, R. G.; ABREU, J. G.; MACEDO, M. C. M. Características morfogênicas e estruturais do Capim-Piatã em sistema de integração lavoura-pecuária. *Veterinária e Zootecnia*, v. 23, n.1, p. 131-138, 2016. ISSN Eletrônico 2178-3764.

RADOMSKI MI, RIBASKI J. Fertilidade do solo e produtividade da pastagem em sistema silvipastoril com *Grevillea robusta*. *Pesquisa florestal brasileira*, v.32, n.69, p.53-61, 2012.

REIS, G. L.; LANA, Â. M. Q.; EMERENCIANO NETO, J. V.; LEMOS FILHO, J. P. de; BORGES, I.; LONGO, R. M. Produção e composição bromatológica do capim-marandu, sob diferentes percentuais de sombreamento e doses de nitrogênio. *Biosci. J.*, Uberlândia, v. 29, Supplement 1, p. 1606-1615, Nov. 2013



REIS; R. A.; RUGGIERI; A. C.; CASAGRANDE; D. R.; PÁSCOA; A. G. Suplementação da dieta de bovinos de corte como estratégia do manejo das pastagens. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.38, p.147-159, 2009 (supl. especial).

ROSADO, A. S. Diversidade e ecologia de microrganismos do solo. In: Reunião brasileira de fertilidade e nutrição de plantas, 23; Reunião brasileira sobre micorrizas, 7; simpósio brasileiro de micro-biologia do solo, 5; Reunião brasileira de biologia do solo, 2, 2000, Santa Maria. *Anais...* Santa Maria: UFSM, 2000. CD-ROM.

RYSCHAWY, J.; CHOISIS, N; CHOISIS, J. P.; JOANNON, A.; GIBON, A. Mixed crop-livestock systems: An economic and environmental-friendly way of farming? *Animal*, v. 6, p. 1722-1730, 2012.

SALTON, J. C.; MERCANTE, F. M.; TOMAZI, M.; ZANATTAC, J. A. Germani Concenc, oa, Wiliam M. Silva, Marciana RetoreaIntegrated crop-livestock system in tropical Brazil: Toward a sustainable production system. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 190, p. 70-79, 2014. DOI 10.1016/j.agee.2013.09.023

SANDERSON, M. A.; ARCHER, D.; HENDRICKSON, J.; KRONBERG, S.; LIEBIG, M.; NICHOLS, K.; SCHMER, M.; TANAKA, D.; AGUILAR, J. Diversification and ecosystem services for conservation agriculture: Outcomes from pastures and integrated crop–livestock systems. *Renewable Agriculture and Food Systems*, v. 28, p. 129-144, 2013. doi:10.1017/S1742170512000312

SANTOS, M. V.; SILVA, D. V.; FONSECA, D. M. da; REIS, M. R. DOS; FERREIRA, L. R.; OLIVEIRA NETO, S. N. de; OLIVEIRA, F. L. R. de. Componentes produtivos do milho sob diferentes manejos de plantas daninhas e arranjos de plantio em sistema agrossilvipastoril. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.45, n.9, p.1545-1550, set, 2015. CR-2014-1224.R1 <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20141224>

SCHARLEMANN, J.; EDMUND, P. W.; TANNER, V. J. et al. Global soil carbono: understanding and managing and managing the largest terrestrial carbono pool. *Carbon Manag.*, v. 5, n.1, p.81-91, 2014.

SILVA, EDMILSON EVANGELISTA et al. *Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo (qCO<sub>2</sub>)*. Seropédica-RJ: Comunicado Técnico Embrapa, 2007.

SOARES, A. B.; SARTOR, L. R.; ADAMI, P. F.; VARELLA, A. C.; FONSECA, L.; MEZZALIRA, J. C. Influência da luminosidade no comportamento de onze espécies forrageiras perenes de verão. *Revista Brasileira Zootecnia*, v.38, n.3, p.443-451, 2009.

SORENSEN, P. O.; GERMINO, M. J.; FERIS, K. P. Microbial community responses to 17 years of altered precipitation are seasonally dependent and coupled to co-varying effects of water content on vegetation and soil C. *Soil Biol Biochem*, v.64, p.155–163, 2013.

SOUSA, L. F.; MAURÍCIO, R. M.; MOREIRA, G. R.; GONÇALVES, L. C.; BORGES, I. PEREIRA, L. G. R. Nutritional evaluation of "Braquiara" grass in association with "Aroeira" trees in a silvopastoral system. *Agroforestry Systems*, v. 79, n. 2, p. 189-199, 2010.

SOUZA JÚNIOR, S. J de. *Estrutura do dossel, interceptação de luz e acúmulo de forragem em pastos de capim-marandu submetidos a estratégias de pastejo rotativo por bovinos de corte*. Dissertação de Mestrado. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP, 2007.

SOUZA, L. M. de; SCHLEMMER, F.; ALENCAR, P. M.; LOPES, A. A. C.; PASSOS, S. R.; XAVIER, G. R.; FERNANDES, M. F.; MENDES, I. C.; REIS JUNIOR, F. B. Estrutura metabólica e genética de comunidades bacterianas em solo de cerrado sob diferentes manejos. *Pesquisa agropecuária brasileira*, Brasília, v.47, n.2, fev. 2012.

STIEVEN, A. C.; OLIVEIRA, D. A.; SANTOS, J. O.; WRUCK, F. J.; CAMPOS, D. T. da S. Impacts of integrated crop-livestock-forest on microbiological indicators of soil. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias* ISSN (on line) 1981-0997 v.9, n.1, p.53-58, 2014

TANG, J.; RILEY, W. J. Weaker soil carbon-climate feedbacks resulting from microbial and abiotic interactions. *Nat. Clim Change*, v. 5, n.1, p.56-60, 2015.

TARNOCAI, C.; CANADELL, J.G.; SCHUUR, E.A.G. et al. Soil organic carbon pools in the northern circumpolar permafrost region, *Global Biogeochem. Cycles*, v.23, n.2, p.1-11, 2009.

TONUCCI R.G., NAIR P.K.R., NAIR V.D., GARCIA R.; BERNARDINO F.S., 2011. Soil carbon storage in silvopasture and related land-use systems in the Brazilian Cerrado. *Journal of Environmental Quality*, v. 40, p. 833–841. DOI: 10.2134/jeq2010.0162

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade do solo In: ALVAREZ, V.H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F.; MELLO, J. W. V.; COSTA, L. M. (Ed.) Tópicos em ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 195-276, 2002.

TURCO, R. F.; KENNEDY, A. K.; JAWSON, M. D. Microbial indicators of soil quality. In: DORAN, J. W.; VILELA, L.; MARTHA JUNIOR, G. B.; MACEDO, M. C. M.; MARCHÃO, R. L.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; KARINA PUL- ROLNIK, K.; MACIEL, G. A. Sistemas de integração lavoura- -pecuária na região do Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1.127-1.138, 2011.

VALLE, C. B.; EUCLIDES, V. P. B.; VALÉRIO, J. R.; MACEDO, M. C. M.; FERNANDES, C. D.; DIAS-FILHO, M. B. *Brachiaria brizantha* cv. Piatã: uma forrageira para diversificação de pastagens tropicais. *Seed News*, v. 11, n. 2, p. 28-30, 2007.

VARELLA, A.C.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; RIBASKI, J.; SOARES, A.B.; MORAES, A.; SAIBRO, J.C.; BARRO, R.S. Estabelecimento de plantas forrageiras em sistemas de integração floresta-pecuária no Sul do Brasil. *In*: FONTANELI, R.S. et al. (Ed.). *Forrageiras para integração lavoura-pecuária-floresta na região sul-brasileira*. Passo Fundo: Embrapa Trigo, p. 283-301. 2009.

VERES, Z.; KOTROCZÓ, Z.; FEKETE, I. ; TÓTH, J. A. ; LAJTHA, K.; TOWNSEND, K.; TÓTHMÉRÉSZ, B.. Soil extracellular enzyme activities are sensitive indicators of detrital inputs and carbon availability. *Applied Soil Ecology*, v.92, p. 18-23, agosto 2015. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2015.03.006>

WILSON, J. R. Shade-stimulated growth and nitrogen uptake by pasture grasses in a subtropical environment. *Australian Journal of Agriculture Research*, v. 47, 1075–1093, 1996.

WRIGHT, I. A. TARAWALI S , BLÜMMEL M , GERARD B , TEUFEL N , HERRERO M. Integrating crops and livestock in subtropical agricultural systems. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 92, p. 1010-1015, 2012.

YAN, J. H, WANG, Y. P., ZHOU, G. Y. & ZHANG, D. Q. Estimates of soil respiration and net primary production of three forests at different succession stages in South China. *Global Change Biol.* 12, 810–821 (2006).

ZAK, J.C., WILLIG, M.R., MOORHEAD, D.L., WILDMAN, H.G. Functional diversity of microbial communities: a quantitative approach. *Soil Biol. Biochem.* 26, 1101–1108. 1994.

ZAK, D. R.; HOLMES, W. E.; WHITE, D. C.; PEACOCK, A. D.; TILMAN, D. Plant diversity, soil microbial communities, and ecosystem function: are there any links? *Ecology*, v.84, p. 2042–2050, 2003.

ZILLI, J. É.; RUMJANEK, N. G.; XAVIER, G. R.; COUTINHO, H. L. DA C.; NEVES, M. C. P. Diversidade microbiana como indicador de qualidade do solo. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, Brasília, v. 20, n. 3, p. 391-411, set./dez. 2003.

## CAPÍTULO 2

### **RADIAÇÃO FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA, PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DA *Urochloa brizantha* cv. Piatã EM SISTEMA SILVIPASTORIL NA REGIÃO CENTRAL DE MINAS GERAIS**

**Resumo** - Objetivou-se com o este trabalho avaliar a radiação fotossinteticamente ativa (RFA), a produtividade e os parâmetros agronômicos e bromatológicos da forragem de *Urochloa brizantha* cv. Piatã, em sistemas silvipastoris (SSP) com diferentes idades de estabelecimento e densidades arbóreas e na pastagem a pleno sol. O ensaio foi conduzido no campo experimental da Embrapa Milho e Sorgo, no município de Sete Lagoas, Minas Gerais. O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado em parcelas subdivididas, com quatro repetições. Nas parcelas, foram distribuídos os tratamentos compostos por cinco sistemas de cultivo, nos arranjos espaciais 15 x 2 e 15 x 4 m: sistemas silvipastoris com *U. brizantha* Piatã e *Eucalyptus grandis* GG100 sendo dois implantados em 2009; com 333 árvores ha<sup>-1</sup> (SSP1) e com 166 árvores ha<sup>-1</sup> (SSP2) e outros dois implantados em 2011; com 333 árvores ha<sup>-1</sup> (SSP3) e com 166 árvores ha<sup>-1</sup> (SSP4) e pastagem com a mesma forrageira a pleno sol (PS) implantadas em 2009. As subparcelas constaram de sete épocas de cortes (ciclos de pastejo). Avaliou-se a radiação fotossinteticamente ativa incidente e determinou-se a produtividade de biomassa de forragem e a proporção dos componentes folha, colmo e material morto na biomassa de forragem. Avaliou-se na biomassa de forragem e nos componentes folha e colmos os teores de Proteína bruta, FDN, FDA, hemicelulose, celulose e a DIVMS. O sombreamento causado pelos renques de eucalipto nos SSPs impactou positivamente a qualidade da forragem, especialmente os teores de PB e a DIVMS, em relação a forragem produzida a pleno sol. O desbaste de 50% das árvores nos SSPs não apresentou efeito significativo sobre a RFA incidente nem sobre a produção de forragem durante o período experimental avaliado. O avanço de 5 para 7 anos no tempo de implantação dos SSPs não afetou a RFA incidente no sub-bosque, entretanto, causou reduções na produção e na qualidade da forragem produzida. As pastagens de *U. brizantha* cv Piatã nos SSPs avaliados, sofreram reduções significativas na RFA incidente e, conseqüentemente, reduções significativas na produção de biomassa de planta inteiras e de folhas, entretanto, não afetaram as proporções dos componentes morfoanatômicos (lâminas foliares, colmos e material morto) na forragem quando comparadas à pastagem a pleno sol. Portanto, o sombreamento causado pelos renques de eucalipto nos SSPs causam a redução na produtividade, embora, haja melhoria na qualidade da forragem em relação à pastagem produzida a pleno sol.

**Palavras-chave:** forragem; luz incidente no sub-bosque; produtividade; sistemas agroflorestais; valor nutricional.

## Introdução

As pastagens brasileiras ocupam 180 milhões de hectares, e 50% dessas se encontram em processo de degradação (Dias-Filho, 2014). É fundamental a recuperação destas áreas para a sustentabilidade da pecuária bovina no país, visto que as pastagens constituem a principal fonte de alimentação de 93% do rebanho bovino nacional (Galdino et al., 2016), contabilizando 215, 2 milhões de cabeças (IBGE, 2016).

Uma alternativa para agregar ganhos à atividade pecuária pode ser a associação de árvores com pastagens, constituindo sistemas silvipastoris (SSP). A integração pode promover a recuperação de pastagens degradadas proporcionando maior estabilidade na produção de alimentos com intensificação no uso da terra, aumento da rentabilidade na atividade, aumento da renda, aliado à sustentabilidade das atividades agropecuárias, reduzindo assim a necessidade de incorporação de novas áreas para as atividades agrícolas. Entretanto, a manutenção da produtividade do pasto e da arbórea constitui o grande desafio para a sustentabilidade do sistema nas regiões tropicais.

A introdução de árvores nos sistemas melhora a qualidade do solo, reduz a erosão e os impactos negativos no ambiente (Iwata et al., 2012; Anghinoni *et al.*, 2013; Pezarico et al., 2013; Carvalho *et al.*, 2014). O uso do eucalipto (*Eucalyptus* spp.) associado a gramíneas dos gêneros *Urochloa* spp., nos sistemas silvipastoris nos trópicos tem sido bem difundido entre os produtores (Tonucci et al. 2011). A gramínea *U. brizantha* cv. Piatã pode ser indicada para o uso nestes sistemas integrados, uma vez que o rápido restabelecimento dos padrões de crescimento é fundamental nas condições deste sistema (Neves Neto et al., 2015; Quintino et al., 2016).

Para o bom desempenho destes sistemas, é necessária a escolha dos componentes, a definição da distribuição espacial desses na área e práticas de manejo que permitam a produtividade mais eficiente. A seleção da forrageira adequada deve se pautar na sua tolerância ao sombreamento, tendo em vista que nessa condição, as forrageiras tendem a priorizar o crescimento da parte aérea em detrimento do sistema radicular, com menor acúmulo de carboidratos de reserva, além de retardar o início do florescimento e diminuir a produção de biomassa aérea.

O eucalipto por apresentar rápido crescimento, principalmente nos primeiros dois anos após o plantio (Cubbage et al. 2012), e sua arquitetura arbórea em expansão interfere na luminosidade disponível no sub-bosque (Costa et al. 2016). O sombreamento causado pelas árvores afetou a produtividade e valor nutritivo das forragens. A intensidade desses efeitos varia em função do arranjo e espécie arbórea utilizada, grau de sombreamento e tolerância das gramíneas à sombra (Paciullo et al., 2008; Radomski; Ribaski et al., 2012). A proximidade dos renques de eucalipto pode impactar no desenvolvimento da forrageira em virtude da competição por luz, água e nutrientes no solo (Peri et al., 2007).

Diante disso, Paciullo et al. (2008) enfatizam que o sombreamento do *Eucalyptus grandis* tem efeito sobre aspectos morfofisiológicos determinantes na produtividade da *B. decumbens*, que apresentou plasticidade fenotípica ao ser submetida aos níveis de sombreamento. Ocorre a elevação das taxas de alongamento de folhas e colmos, redução nos

valores das variáveis morfogênicas e estruturais do dossel, assim como das taxas de produção de forragem.

A redução de luz sob a copas das árvores pode influenciar o crescimento e o desenvolvimento das espécies forrageiras, causar a elevação de colmos, modificar a área foliar e comprimento de folhas, permitindo que as plantas alcancem maior altura para realizar as atividades fotossintéticas, por causa do processo de estiolamento, apresentando menor produção de perfilhos, quando comparando com ambientes sem restrição luminosa (Belesky et al., 2011).

As árvores e o pasto competem pelos mesmos recursos, o que constitui um dos principais desafios nos sistemas silvipastoris relacionados ao desempenho produtivo de pastagens de *Urochloa* spp. (Costa et al. 2016; Guerra et al. 2016; Lindgren e Sullivan, 2014). Assim, a escolha dos componentes e a distribuição espacial é essencial para avaliar o efeito da árvore nos aspectos produtivos e nutricionais, principalmente proteína e a fração fibrosa que apresentam resultados ainda não conclusivos na literatura (Carvalho et al., 2002; Paciullo et al., 2007).

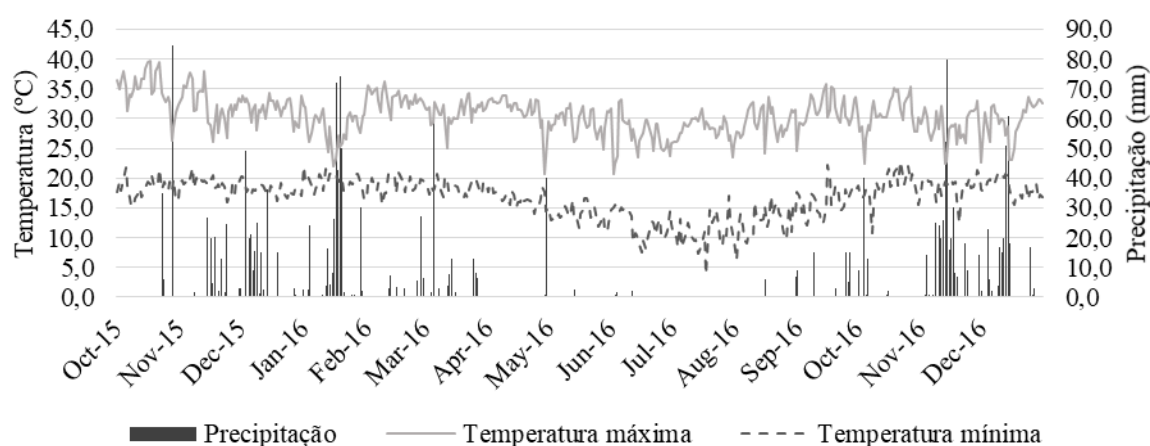
Além dos aspectos acima mencionados, nos sistemas silvipastoris a pressão de competição pelos fatores de produção exercida pelas árvores sobre a forrageira tende a aumentar com o crescimento das árvores no sistema. Em alguns casos, para se reduzir esta pressão exercida pelas árvores pode ser realizada a prática do desbaste, reduzindo-se a população arbórea na área e, conseqüentemente, melhorando as condições para o sub-bosque.

Objetivou-se com o presente trabalho avaliar a radiação fotossinteticamente ativa (RFA), a produtividade e os parâmetros agrônômicos e bromatológicos da forragem de *U. brizantha* cv. Piatã em sistemas silvipastoris, com diferentes idades de estabelecimento e densidades arbóreas e pastagem a pleno sol.

## **Materiais e métodos**

### **Caracterização da área experimental**

O experimento foi conduzido na unidade experimental da Embrapa Milho e Sorgo, localizada no município de Sete Lagoas, Minas Gerais, Brasil, nas coordenadas de 19° 29'11" S e longitude de 44° 10' 77" W e altitude de 708 m. O clima é do tipo AW conforme classificação de Köppen, com estação seca, de maio a outubro e chuvosa, de novembro a abril. Na Figura 1, estão apresentados dados de temperatura máxima, mínima e precipitação no período experimental, em que a precipitação total foi de 1.791,7 mm.



**Figura 1.** Médias diárias de temperatura máxima T máx (°C) e mínima T mín (°C) e precipitação pluviométrica (mm), e datas de cortes de amostragens, durante o período experimental nos anos 2015 e 2016, em Sete Lagoas, MG. Fonte: CNPMS/Embrapa; INMET

O solo é classificado como: Latossolo Vermelho distrófico típico (LVd) de textura argilosa, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos et al., 2013), com relevo suave ondulado e sob vegetação Floresta Estacional Semidecidual de transição para Cerrado segundo classificação por Costa et al. (2015).

Em 2009 e em 2011, a adubação de plantio do eucalipto foi no sulco de 200 kg ha<sup>-1</sup> de superfosfato simples, mais 120 g planta<sup>-1</sup> da formulação NPK 06-30-06 com 0,5% B e 1,5% Zn, metade em cada lado da cova, a uma distância de 15 a 20 cm da muda. Na semana seguinte ao plantio foi realizada uma adubação de cobertura na projeção da copa com 120 g planta<sup>-1</sup> de NPK 20-00-20 e uma com 200 g planta<sup>-1</sup> em novembro de 2012 e em fevereiro de 2013 aplicou-se 15 g planta<sup>-1</sup> de ácido bórico na projeção da copa de cada árvore. Os atributos químicos das áreas avaliadas nas profundidades de 0-20 e 0-40 cm estão na Tabela 1.

**Tabela 1** - Caracterização química do solo da área experimental nas profundidades de 0-20 e 0-40 cm, Sete Lagoas, MG, 2016

Sist**		Teores de nutrientes*											
		pH <sup>1</sup>	M.O	H+A	Al <sup>3+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	SB	CTC	K <sup>+</sup>	P	V	M
			dag <sup>-1</sup> Kg			cmolc <sup>-1</sup>	cm <sup>-3</sup>			mg <sup>-1</sup> dm <sup>-1</sup>		%	
SSP1	0-20	5,53	5,30	8,40	0,78	0,42	2,24	2,78	11,18	48,57	9,11	23,65	29,24
	20-40	5,21	4,03	9,35	1,52	0,07	0,67	0,77	10,12	12,17	3,11	7,58	66,51
SSP2	0-20	5,29	4,53	9,07	0,97	0,29	1,42	1,78	10,84	25,26	7,34	15,30	42,50
	20-40	5,24	4,98	9,09	1,49	0,04	0,40	0,46	9,55	11,35	3,48	4,77	76,69
SSP3	0-20	5,44	4,01	7,50	0,37	0,49	3,37	4,02	11,53	63,57	12,27	33,78	11,21
	20-40	5,47	4,28	7,68	0,79	0,11	1,25	1,43	9,11	25,94	7,37	15,57	36,50
SSP4	0-20	5,53	4,14	7,92	0,89	0,55	2,89	3,55	11,47	42,78	5,49	29,48	25,76
	20-40	5,52	4,40	8,47	1,57	0,12	1,04	1,20	9,67	15,46	1,88	12,27	57,50
PS	0-20	5,82	4,91	7,91	0,76	0,23	2,38	2,64	10,55	11,20	9,32	26,05	26,36
	20-40	5,67	5,88	8,86	1,28	0,03	0,72	0,76	9,62	2,87	1,75	7,99	62,54

\*Análises realizadas conforme Embrapa (1997). <sup>1</sup>pH- potencial hidrogeniônico em H<sub>2</sub>O; MO – Matéria orgânica do solo pelo Método Walkley e Black H+A – acidez ativa, Extrator Ca (OAc)<sub>2</sub> 0,5 mol pH 7,0; Al – alumínio, Extrator KCl 1 mol L<sup>-1</sup>; Mg – magnésio; Ca – cálcio; SB – soma de bases; CTC – capacidade de troca catiônica; K – potássio; P – fósforo, Extrator Mehlich<sup>-1</sup>; V – saturação de bases; m – saturação de alumínio; \*\*Sistemas: silvipastoris (SSP): implantado em 2009 com 333 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP1), em 2009 com 166 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP2), em 2011 com 333 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP3) e em 2011 com 166 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP4); pastagens à pleno sol (PS).

Nos anos de plantio dos sistemas, os três primeiros ciclos agrícolas, nas faixas entre os renques de *Eucalyptus* spp., foi realizada a semeadura simultânea em sistema de plantio direto do milho (AG 8088 VT PRO) consorciado com capim braquiária (*Urochloa brizantha* cv. Piatã). O espaçamento foi de 0,70 m entre linhas, respeitando-se uma distância de um metro entre a primeira linha de semeadura do milho/braquiária dos renques de eucalipto. A partir de 2009, nos três anos agrícolas o milho e o capim braquiária cv Piatã foram semeados a pleno solo em área de 400 m<sup>2</sup>. A adubação de semeadura, nas três safras, consistiu de 400 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula NPK 08-28-16 e quando o milho atingiu o estágio fenológico V6-V7 foi realizada a adubação de cobertura com 250 kg ha<sup>-1</sup> de ureia (Souza & Lobato, 2004). Após colheita do milho ficou estabelecida as áreas de pastagem.

Em setembro do segundo e terceiro ano após a implantação do eucalipto foram realizadas a desrama das árvores até 1/3 de sua altura, com a desrama final atingindo 6 metros aproximadamente. Em setembro de 2014 e 2015 foi realizado o desbaste de 50% das árvores em metade dos renques implantados em 2009 e 2011 respectivamente.

Durante o período experimental, em outubro de 2016, as árvores apresentavam altura média e diâmetro à altura do peito (DAP a 1,30 cm) de 29,8 m e 23,4 cm no SSP1; 26,6 m e 25,7 cm no SSP2; 22,0 e 17,9 cm no SSP3 e 20,9 m e 20,0 cm no SSP4.

Nesta área, em 17 de agosto de 2014, foi distribuído a lanço 2 t ha<sup>-1</sup> calcário e 2 t ha<sup>-1</sup> gesso agrícola em superfície. Em 17 de novembro de 2014 foi realizado a adubação de cobertura distribuídas a lanço 250 kg ha<sup>-1</sup> de superfosfato simples e mais 250 kg ha<sup>-1</sup> de cloreto de potássio.

### Sistemas avaliados

Os tratamentos consistiram de cinco sistemas de cultivo: sistemas silvipastoris (SSP), sendo dois implantados em 2009: (SSP1) com 333 árvores ha<sup>-1</sup> e (SSP2) com 166 árvores ha<sup>-1</sup>, outros dois implantados em 2011: (SSP3) com 333 árvores ha<sup>-1</sup> e (SSP4) com 166 árvores ha<sup>-1</sup> e a pastagem em pleno sol (PS) implantada em 2009 (Figura 2).



**Figura 2.** Área experimental com os sistemas de cultivo: sistemas silvipastoris implantado em 2009 com 333 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP1), em 2009 com 166 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP2), em 2011 com 333 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP3) e em 2011 com 166 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP4) e pastagens à pleno sol: implantada em 2009 (PS). Fonte: maps/google.com.br



### Estimativa da radiação fotossinteticamente ativa incidente (RFAi)

As avaliações da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) foram realizadas nos dias 16/12/2015, 01/02/2016, 06/05/2016, e 25/08/2016, em dias com baixa nebulosidade, em três horários (08:00, 12:00 e 16:00 horas), nos mesmos pontos onde foram realizadas as amostragens de forragem, com duas repetições por tratamentos e em áreas a pleno sol. A RFA ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) foi avaliada utilizando-se o Ceptômetro de barra modelo Sunscan probe v1.02R., posicionado na altura do dossel do relvado. Para a radiação fotossinteticamente ativa incidente (RFAi), os dados foram obtidos com a divisão dessa variável coletada em cada tratamento no SSPs pela RFAi obtida do respectivo tratamento a PS, para cada data amostrada, tendo sido os valores convertidos em porcentagens.

### Coleta de amostras da forrageira

Em 14 de outubro de 2015, foi realizado o corte de uniformização das áreas de pastagens utilizando roçadeira tratorizada. Esta operação foi repetida em 29 de agosto de 2016, ao final do período seco, sendo as avaliações realizadas até 24 de novembro de 2016. Foram realizados sete cortes para a avaliação das pastagens conforme constam os intervalos de corte e períodos acumulados na tabela 2:

**Tabela 2** – Período experimental do ciclo de pastejo de 2015/2016, nas coletas da forrageira *Urochloa brizantha* cv. Piatã em Sete Lagoas, MG

Cortes	Datas	Intervalos de corte (dias)	Tempo experimental D0 (dias)
uniformização *	14/10/2015	-	-
1°	19/11/2015	35	35
2°	14/12/2015	25	60
3°	19/01/2016	35	95
4°	23/02/2016	35	130
5°	22/03/2016	28	158
6°	18/04/2016	27	185
7°	24/11/16	220	405

\*corte realizado para padronização da forrageira em todas as áreas no início do período experimental

Após as amostragens foram utilizados 40 bovinos sendo 20 Nelores e 20 ½ sangue Angus/Nelore machos em recia. O número de animais foi variável para a colheita da forragem e rebaixamento da pastagem, em cerca de 20 cm de altura. Após a saída dos animais, os períodos de acúmulos de forragem foram entre 25 a 28 dias até o corte subsequente, no período das águas.

As amostragens de pasto nos sistemas SSP foram realizadas em quatro faixas aleatórias (repetições) que se estendem a partir da fileira do eucalipto ao centro da parcela, sendo os pontos para coleta da forragem entre os renques de árvores, locados a partir do componente arbóreo nas distâncias de 0,5; 1,25; 3,0 e 7,0 m e calculada uma média para cada parcela. Na área de pastagem PS foi amostrado em quatro pontos aleatórios (repetições) lançados ao centro da parcela experimental.

As amostragens foram efetuadas com o auxílio de cutelos a 20 cm de altura do solo com quadro metálico com área de 1 m<sup>2</sup> (1 x 1 m). No centro do quadrado metálico foi mensurado,

com auxílio régua quadrada, a altura média do dossel da forragem (m), considerando o manejo em cerca de 40 cm a altura de entrada e 20 cm a altura de saída do dossel forrageiro. As amostras de forragens coletadas foram separadas em duas sub-amostras, uma para estimativas da biomassa de forragem disponível (BFOR, Kg ha<sup>-1</sup>) e a outra foi fracionada em lâmina foliar, haste+bainha foliar (colmo) e material morto, para cálculo de percentagens na forragem, %F, %C, %MM, respectivamente. As amostras foram pesadas e secas em estufa de circulação forçada de ar a 55 °C até a obtenção de peso constante. Posteriormente, foram moídas em moinho tipo Willey (2 mm) e encaminhadas ao laboratório para realização das análises bromatológicas.

A relação lâmina foliar: colmo (RFC) foi estimada por meio da razão entre a massa seca de lâminas foliares e de colmo. No local de cada amostragem foi avaliada a altura média do dossel (AP, m) utilizando uma régua graduada. Para a estimativa da produção de forragem total (PFT, Kg ha<sup>-1</sup>) do período experimental total (405 dias) foi realizado o somatório das avaliações de todos os cortes para cada tratamento.

### **Análises bromatológicas**

As amostras da biomassa total e dos componentes folha e colmo foram analisadas adotando-se a seguinte metodologia proposta por Van Soest (1994), os teores de fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA). A proteína bruta (PB) foi determinada segundo recomendações da AOAC (1990), e digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) segundo Campos et al. (2001). Foram utilizando-se a técnica espectroscopia NIR (NIRFlex 500, Buchi Labortechnik), com modelos previamente ajustados para forragem de braquiária conforme as metodologias de referência para cada um dos parâmetros analisados. O teor de hemicelulose (HCEL) foi calculado pela diferença entre o FDN e FDA. O conteúdo de celulose (CEL) foi estimado pela diferença entre FDA e a LIG.

### **Análises estatísticas**

Os dados de RFAi foram submetidos a ANOVA, no arranjo de parcelas subdivididas, com quatro repetições, sendo as parcelas os cinco sistemas de cultivo e as quatro estações amostradas nas subparcelas. Para comparação entre as médias foi utilizado o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os dados RFAi foram submetidos à Correlação de Pearson.

Para a comparação entre sistemas de produção, nos tratamentos envolvendo os sistemas silvipastoris, foram calculados os dados médios das quatro distâncias por cada faixa de amostragem para os parâmetros agrônômicos e bromatológicos avaliados.

Os dados foram submetidos aos testes de Lilliefors e Bartlett para verificação de distribuição da normalidade e homocedasticidade, respectivamente.

A análise de variância foi realizada segundo o delineamento experimental inteiramente ao acaso com medidas repetidas no tempo, no arranjo de parcelas subdivididas, com quatro repetições, sendo as parcelas, os tratamentos compostos por cinco sistemas de cultivo (SSP1, SSP2, SSP3, SSP4 e PS) e os sete épocas de cortes nas subparcelas. Para comparação entre as médias foi utilizado o teste de Tukey a 1 e 5% de probabilidade.

## Resultados e Discussão

As médias das percentagens de radiação fotossinteticamente ativa incidente (RFAi) no dossel da pastagem apresentaram efeito significativo ( $P < 0,01$ ) para os sistemas, épocas de avaliação e para a interação entre sistemas x época (Tabela 3).

**Tabela 3** – Radiação fotossinteticamente ativa (RFA) (%) no dossel forrageiro de *U. brizantha* Piatã em sistemas silvipastoris com *Eucalyptus* spp. sob diferentes densidades e anos de implantação em relação a pastagem a pleno sol, conforme as estações climáticas<sup>1</sup>, Sete Lagoas – MG

Sistemas*	RFAi nas estações do ano				Média
	Primavera 16/12/2015	Verão 01/02/2016	Outono 06/04/2016	Inverno 25/08/2016	
SSP1	62,79 abBC	52,11 bcB	36,69 cB	76,98 aB	57,14
SSP2	71,28 aB	68,89 aB	45,99 bB	85,57 aAB	67,93
SSP3	46,00 bC	49,40 bB	46,28 bB	77,39 aB	54,77
SSP4	56,89 bBC	65,87 bB	52,82 bB	88,95 aAB	66,13
PS	100,00 aA	100,00 aA	100,00 aA	100,00 aA	

<sup>1</sup>Médias seguidas por letras distintas, minúscula na linha e maiúscula na coluna, diferem pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). \*sistemas silvipastoris: implantado em 2009 com 333 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP1), em 2009 com 166 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP2), em 2011 com 333 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP3) e em 2011 com 166 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP4) e pastagens à pleno sol (PS).

A RFAi nas pastagens entre os renques de eucalipto foi significativamente ( $p < 0,05$ ) inferior à radiação na pastagem a pleno sol (PS) exceto no inverno, que a entrada de luz foi maior nos sistemas com menores densidades arbóreas, provavelmente por causa da inclinação da Terra em relação ao Sol, a altura das copas das árvores e ocorrência de quedas de folhas nesta época.

De forma geral, a maior produção de forragem foi verificada no verão e outono, como observado na Tabela 5 a seguir, quando a interceptação luminosa ocasionada pelas arbóreas estiveram acima de 30%, indicando um forte nível de sombreamento no pasto no sub-bosque do eucalipto.

Com exceção da primavera, não foram observadas diferenças significativas entre os sistemas silvipastoris (SSPs) avaliados, indicando que o nível de interceptação da RFA, ocasionado pelos renques de eucalipto, atingiram um patamar médio em torno de 45% já no quinto ano após a implantação dos SSPs, não sendo observadas diferenças significativas entre os SSPs com 5 e 7 anos de implantação.

Também não foi observada diferença significativa entre os sistemas mais adensados em relação aqueles onde foi realizado o desbaste de 50% das árvores, com o mesmo tempo de implantação (SSP1 x SSP2 e SSP3 x SSP4), indicando que no arranjo espacial avaliado (15 metros entre renques), mesmo nas áreas com o desbaste de árvores (SSP2 e SSP4) apresentaram uma média anual superior em 10 e 12% na %RFA em relação aos sistemas adensados (SSP1 e SSP3), a redução em 50% da população arbórea não foi suficiente para alterar de forma consistente a RFA incidente na pastagem no sub-bosque.

Em sistemas silvipastoris na mesma região, Rodrigues et al., (2014) avaliaram diferentes arranjos espaciais de *Eucalyptus* GG100 ((3×2)×20 m, (2×2)×9 m e 9×2 m) e locais de amostragem (centro e lateral da entrelinha) e verificaram que os arranjos espaciais (3×2)×20 m, com menores densidades, de 434 árv. ha<sup>-1</sup> apresentaram maiores médias de RFA

(795,5  $\mu\text{W cm}^{-2} \text{ nm}^{-1}$ ), enquanto o (2×2)×9 m, com 909 árv. ha<sup>-1</sup> apresentou menores valores (747,25  $\mu\text{W cm}^{-2} \text{ nm}^{-1}$ ). No centro da entrelinha foi proporcionado maiores médias de RFAi em relação à área sob copa do eucalipto para os três arranjos.

Para esta variável, os sistemas implantados há cinco anos (SSP3 e SSP4) mantém a RFAi durante as estações primavera-verão até outono (Tabela 3). Em todos os sistemas avaliados constatou-se que no fim da estação de inverno houve aumento pronunciado da RFAi com média de 85,78%.

Na estação da primavera, verificou-se que a RFAi nas plantas foi inferior no sistema (SSP3) embora este não difere do SSP1, sistema com mesma densidade arbórea (333 árv. ha<sup>-1</sup>), e SSP4 implantado em mesmo ano (Tabela 5). No verão a outono (01/02/2016 e 06/04/2016) notou-se médias semelhantes entre os sistemas silvipastoris avaliados, embora inferiores a PS.

Em um sistema silvopastoril composto de árvores nativas adultas de *Pterodon emarginatus* com 156 árv. ha e *Urochloa brizantha*, e uma área de pastagem a pleno sol, Mendonça et al. (2017) também verificaram que houve variações sazonais na RFA nos sistemas avaliados. Considerando as estações do ano, a umidade e calor durante o verão, a quantidade de luz transmitida sob as árvores foi diminuída pelo aumento de IAF e nebulosidade (cobertura de nuvens), e quando havia mais luz do sol através das árvores e havia menos cobertura de nuvens, verificou-se menos umidade e a temperatura restringiu o crescimento da gramínea tropical (Mendonça et al., 2017).

Neste estudo, a RFAi e a produção de MS da *U. brachiaria* cv. Piatã apresentou correlação forte com associação linear positiva ( $r = 0,88^{**}$ ). Corroborando com Bosi et al. (2014) em que a RFAi foi correlacionada positivamente com a produtividade da *U. decumbens* nos períodos de seca e chuvoso e obtiveram respectivamente,  $r=0,26$  e  $r=0,73$  entre essas duas variáveis.

A análise de variância dos dados de altura do dossel (AP), biomassa da forragem Piatã disponível (BFOR), relação folha/colmo (RFC) e proporções dos componentes lâmina foliar, colmos e material morto indicaram efeitos significativos para os sistemas avaliados, épocas dos cortes de amostragem e para a interação sistemas x corte.

De modo geral, verificou-se maiores AP do dossel ocorre nas árvores mais velhas (SSP1 e SSP2) em todos os períodos, ou seja, nos locais de menor radiação o que confirma a tendência da forragem de maior crescimento em busca de luz. As maiores AP foram para todos os sistemas, nos cortes realizados no final da primavera e no verão (Tabela 4).

Provavelmente em função da utilização de intervalos de dias similares entre o pós-pastejo e o corte de amostragem (Tabela 2) e porque nestas estações do ano as condições climáticas (precipitação e temperatura) são mais favoráveis ao crescimento vegetal (Figura 1).

A redução em 50% na densidade arbórea não provocou alterações na altura do pasto entre os sistemas de mesmo tempo de maturação (SSP1 x SSP2 e SSP3 x SSP4), exceto no 6º corte onde a altura no SSP1 (maior densidade arbórea) foi superior ao SSP2. Neste corte, as densidades arbóreas, interferiram na AP quando o sistema silvipastoril já está estabelecido. Oliveira et al. (2007) explicam que a quantidade de luz disponível para o crescimento das forrageiras no sistema silvipastoril é um dos fatores determinantes na produção de forragem.

**Tabela 4** – Valores médios da altura do dossel (m) e desvios padrão da forrageira *U.brizantha* cv. Piatã dos sistemas silvipastoris (SSP) e pastagem a pleno sol (PS) nos cortes avaliados, Sete Lagoas, MG

Sist*	Altura do dossel (m)							
	Primavera		Verão		Outono		Primavera	
	Cortes**							
	1	2	3	4	5	6	7	Média
SSP1	0,64 ±0,1 aA	0,65 ±0,08aAB	0,64 ±0,12 Aa	0,64 ±0,08 aA	0,61±0,14abA	0,37±0,05bA	0,59±0,15abA	0,59±0,14
SSP2	0,65 ±0,11 abA	0,71 ±0,05 abA	0,6 ±0,05 abA	0,72 ±0,12 aA	0,53 ±0,1 Ba	0,3 ±0,03 cB	0,6 ±0,6 abA	0,59±0,15
SSP3	0,4 ±0,07 cB	0,52±0,06bcB	0,73 ±0,09 aA	0,54 ±0,05 bA	0,51±0,06bcA	0,42±0,03bcA	0,5 ±0,01 bcA	0,52±0,11
SSP4	0,4 ±0,02 cB	0,49 ±0,02 bcB	0,67 ±0,08 aA	0,57 ±0,04 abA	0,5 ±0,06 bcA	0,45 ±0,05cA	0,57±0,05abA	0,52±0,09
PS	0,41 ±0,13 aB	0,62±0,15aAB	0,56 ±0,13 aA	0,59 ±0,15 aA	0,48 ±0,11 aA	0,41 ±0,1 aA	0,63±0,12 aA	0,53±0,14
<b>Média</b>	0,5 ±0,15	0,6 ±0,11	0,64 ±0,11	0,61 ±0,11	0,53 ±0,1	0,39 ±0,07	0,58 ±0,1	0,55±0,13

Médias seguidas de letras distintas, minúscula na linha, maiúscula na coluna, diferem pelo Teste Tukey, ( $p < 0,05$ ). \*sistemas de cultivo: sistemas silvipastoris implantado em 2009 com 333 arv. ha<sup>-1</sup> (SSP1), em 2009 com 166 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP2), em 2011 com 333 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP3) e em 2011 com 166 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP4) e pastagens à pleno sol (PS)

\*\* Cortes: 1° - 19/11/15, 2° - 14/12/15, 3° - 19/01/16, 4° - 23/02/16, 5° - 22/03/16, 6° 18/04/16 e 7° 24/11/16

Nos cortes 3, 4, 5, e 7 os valores da altura do dossel entre os sistemas estudados foram similares estatisticamente entre si (Tabela 4). Assim, não houve efeito do sombreamento, proporcionado pelas árvores na altura do dossel da forrageira no sub-bosque. Neste estudo, os valores médios das AP para *U. brizantha* cv. Piatã foram de 55-60 cm. Dim et al. (2015) encontraram a maior produtividade dessa forrageira na altura de 60 cm, com médias de 4612,51 kg. ha<sup>-1</sup> e 3566 kg. ha<sup>-1</sup> para altura de 30 cm.

A AP na estação chuvosa apresentou média superior em relação à estação seca (meados de abril). O fator de estress hídrico no período de seca (Figura 1) pode ter sido fundamental em influenciar no desenvolvimento da forrageira, em que no período de luminosidade diária há uma redução gradual até o solstício de inverno. Segundo Taiz e Zeiger (2013), o processo mais influenciado pelo stress hídrico é a expansão celular, assim aumenta o crescimento das raízes em detrimento da parte aérea.

Para os sistemas implantados em 2011, independente da densidade arbórea (SSP3 e SSP4) os cortes que ocorreram em janeiro apresentaram superioridade aos demais cortes avaliados, visto que as condições climáticas do verão (maior luminosidade e precipitação) proporcionaram condições mais favoráveis para a elevação da altura dossel forrageiro.

No presente estudo, a pastagem em PS durante todo período experimental não apresentou diferença significativa para as alturas da forrageira nas épocas amostradas (Tabela 4). Apresentou maior variação ocorreu entre os cortes ao longo do ano nos SSPs em comparação ao PS, em virtude, provavelmente da interceptação da radiação solar, competição por água e nutrientes, além de outros fatores que interferem na AP, e são mais variáveis nos SSPs, uma vez que a interação de espécies com fatores ambientais promove maior variação no ecossistema.

Os dados indicam que, mesmo com forte interceptação da RFAi observado nos SSPs, este sombreamento causado pelas árvores não foi suficiente para induzir ao estiolamento da forrageira e, conseqüentemente, maior altura do dossel em relação à pastagem PS, não tendo sido observada correlação significativa entre a %RFA e a altura do dossel ( $r = 0,135^{ns}$ ).

Este comportamento contraria alguns trabalhos que indicam que as pastagens sob sombreamento moderado tendem a apresentar maiores alturas em comparação as pastagens sem sombra. Com aumento do sombreamento nas forrageiras *B. decumbens* cv. Basilisk e *B. brizantha*, cultivares Marandú e Xaraés, Martuscello et al. (2009) observaram aumento da altura das plantas. Paciullo et al. (2007) indicam que condições de sombreamento acima de 35–40% podem afetar o crescimento da maioria das gramíneas tropicais.

De modo geral, no início da estação chuvosa as árvores com maior idade (SSP1 e SSP2) influenciaram de forma positiva na maior altura das forrageiras. Ao passo que na estação seca e na segunda metade da estação chuvosa (janeiro, fevereiro e março) a densidade arbórea não interferiu na altura do dossel forrageiro.

A biomassa de forragem disponível (BFOR) nos SSPs foram significativamente inferiores à BFOR na pastagem PS em todos os cortes (Tabela 5).

**Tabela 5** – Valores médios da biomassa da forragem disponível (Kg ha<sup>-1</sup>) e desvios padrão da forrageira *U.brizantha* cv. Piatã dos sistemas silvipastoris (SSP) e pastagem a pleno sol (PS) nos cortes avaliados, Sete Lagoas, MG

Biomassa da forragem disponível - BFOR (Kg ha <sup>-1</sup> )								
Primavera		Verão		Outono		Primavera		Prod. Acum. MS (Kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )
Cortes**								
Sist*	1	2	3	4	5	6	7	
SSP1	625 ±34 cB	1346 ±310 bB	1362 ±234 bB	2281 ±422 aB	2023 ±298 aB	2487 ±223 aCB	1089 ±201 cbC	11214±527 C
SSP2	854 ±182 cB	1542 ±242 bcB	2051 ±213 bB	2906 ±616 aB	2106 ±307 bB	2232 ±401 abC	1202 ±161 cBC	12893±911 BC
SSP3	484 ±85 cB	1254 ±391 bcB	2241 ±155 abB	2674 ±700 aB	2802 ±910 aAB	2937 ±179 aCB	1103 ±161 cC	13495±1448BC
SSP4	453 ±74 cB	1525 ±295 bB	2277 ±404 bB	3966 ±655 aB	3244 ±606 aAB	3323 ±214 aB	1663 ±177 bB	16451±1543 B
PS	1620±534cA	3494 ±718 bcA	3903±1264abcA	6756 ±2536 aA	4448±1923abcA	4879 ±918 abA	3435±436 bcA	28533±3183 A
<b>Média</b>	<b>807 ±497</b>	<b>1832 ±940</b>	<b>2361±016</b>	<b>3717 ±2002</b>	<b>2925 ±1276</b>	<b>3171 ±1049</b>	<b>1698 ±943</b>	<b>16451 ±1543</b>

Médias seguidas de letras distintas, minúscula na linha, maiúscula na coluna, diferem pelo Teste Tukey, (p<0,05). \*sistemas silvipastoris: implantado em 2009 com 333 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP1), em 2009 com 166 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP2), em 2011 com 333 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP3) e em 2011 com 166 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP4) e pastagens à pleno sol (PS); \*\* Cortes: 1° - 19/11/15, 2° - 14/12/15, 3° - 19/01/16, 4° - 23/02/16, 5° - 22/03/16, 6° 18/04/16 e 7° 24/11/16. Prod. Acum. MS: Produção de matéria seca acumulada no período experimental

Com exceção observada no 7° corte para SSPs no quinto ano de implantação (SSP3 e SSP4), a densidade de árvores entre os sistemas implantados em um mesmo ano (SSP1 x SSP2 e SSP3 x SSP4) não influenciou a disponibilidade de forragem. Este resultado indica que o desbaste de 50% das árvores no quarto ano e implantação não ocasionou a esperada redução da pressão de competição exercida pelo eucalipto sobre a forrageira (Tabela 5). Assim, percebe-se que o desbaste poderia ter ocorrido mais cedo do que o ocorrido ou de forma mais rigorosa.

De modo geral, os valores médios para produção de biomassa de forragem no PS (28.533 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) foram superiores em relação aos SSPs com média de 13513,25 kg de MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. O sombreamento proporcionado pelas arbóreas nesses sistemas foi efetivo para promover redução de 53% na produção da forrageira se comparado ao pleno sol. A

superioridade da produção do PS provavelmente, se deve à maior radiação fotossinteticamente ativa e menor competição de espécies por recursos (água e nutrientes) às plantas se comparado aos sistemas integrados.

As condições de sombreamento sob a forrageira no sub-bosque têm sido relatadas como prejudiciais ao crescimento e produção de forragem em sistemas agrossilvipastoris ou silvipastoris (Castro et al., 1999; Paciullo et al., 2007; Pereira et al. 2015).

Em um sistema silvipastoril composto de árvores nativas adultas de *Pterodon emarginatus* com uma densidade de 156 árvores por hectare e pastagem *Urochloa brizantha* com 30 anos e uma pastagem a pleno sol, Mendonça et al. (2017) relataram perdas de 65% no rendimento de matéria seca de *Urochloa brizantha* no SSP em relação à pastagem a pleno sol, com quantidades de 97,4 e 149,8 g m<sup>-2</sup>, respectivamente. Essa redução no rendimento foi semelhante à redução da RAF sob as árvores (69%).

Santos et al. (2014) avaliando a influência da radiação solar sobre a produção de massa seca de forragem da *Urochloa brizantha* cv. BRS Piatã em sistema silvipastoril com o eucalipto *urograndis*, as mesmas espécies nos sistemas do presente estudo, verificaram que a maior produção de massa seca de forragem (3.680,0 kg.ha<sup>-1</sup>) foi encontrada na pastagem à PS.

Em sistema silvipastoris com as mesmas espécies deste estudo, Santos (2016) avaliaram o acúmulo de massa seca, a disponibilidade, as características estruturais e a composição bromatológica da do capim-Piatã, bem como o desempenho animal em duas densidades de árvores em sistema silvipastoril, em contraste com área sem a presença de eucalipto *urograndis*, nos períodos chuvoso e seco do Cerrado brasileiro. O autor constatou que para cada 1% de redução de RFA ocorreu diminuição de 1,35% na MS do capim-Piatã, o que equivale a 42,8 kg ha<sup>-1</sup>, e sugeriu ainda, que se deve utilizar maiores espaçamentos entre os renques arbóreos (não inferiores a 22 m) quando o principal uso do sistema silvipastoril é a produção animal.

Verificou-se uma forte correlação direta entre a BFOR e a RFA incidente ( $r = 0,890^{**}$ ), indicando que o sombreamento exercido pelas árvores pode ser a principal causa da redução na produção da pastagem nos SSPs. Verificou-se que os sistemas SSP1, SSP2, SSP3 e SSP4 apresentaram BFOR acumulada correspondentes a aproximadamente 39, 45, 47 e 58% da BFOR acumulada na pastagem a PS, respectivamente, com uma tendência de redução no acúmulo com o aumento do tempo de implantação do sistema e também com o aumento da densidade de árvores.

Paciullo et al. (2007) observaram que níveis de até 35% de sombra pouco modificaram a produtividade da pastagem em relação ao sol pleno. Em contrapartida, Sousa et al. (2007) notaram redução na produção de massa seca em pastagem de *Brachiaria brizantha*, ao ser sombreada 74% por *Zeyheria tuberculosa* (bolsa-de-pastor) considerado muito intenso para esta forragem. Foi encontrada produção média de 1,2 t ha<sup>-1</sup> durante o período de dezembro a abril e 1,7 t ha<sup>-1</sup> para pastagem à pleno sol.

Com relação à produção de MS, Pereira et al. (2015) ao avaliarem no *U. decumbens* e *Eucalyptus urophylla* na média dos 48 meses aos 66 meses pós-plantio do eucalipto, no verão sob pastagem a pleno sol e três arranjos silvipastoris (3x2, 6x4 e 10x4 m) e observaram produção 2.644, 2.408, 2.093 kg de MS ha<sup>-1</sup>, respectivamente, em relação ao pleno sol, cujo valores foram inferiores ao pleno sol (3.382 kg de MS ha<sup>-1</sup>).

Analisando de forma conjunta os SSPs avaliados verifica-se que estes produziram aproximadamente apenas 47% da BFOR acumulada no sistema PS durante o período experimental. Analisando-se os SSPs com menores densidades arbóreas (SSP2 e SSP4) nos dois momentos de maturidade (5 e 7 anos de implantação) verifica-se uma produção de forragem próxima de 51% da produção a PS, enquanto os sistemas com maiores densidades (SSP1 e SSP3) produziram apenas 43%. Assim, no espaçamento de 15 m entre os renques, a redução de 50% na densidade de árvores, que ocasionou um acréscimo médio de 11% na RFA incidente nos sistemas desbastados, propiciaram um acréscimo de 8,1% na produção de forragem durante o período experimental avaliado. O sombreamento proporcionado pelas arbóreas e a idade delas foram efetivos para promover redução na BFOR da *U. brizantha* cv. Piatã.

Analisando a proporção dos componentes morfoanatômicos da BFOR nos cortes e sistemas avaliados verifica-se que as maiores variações ocorreram entre os cortes, observado na Tabela 6 a seguir.

Em todos os sistemas de produção, a %F foram maiores no início da estação de crescimento, decrescendo até o final deste período (corte 6), este teve menor participação das frações folhas em média 34,3%, e novamente se elevando no corte realizado no início da nova estação de crescimento (corte 7).

Comportamento inverso foi observado para colmo (%C) (Tabela 6). Este incremento na %C no período mais favorável para o crescimento vegetativo da forrageira está, provavelmente, associado à utilização de intervalos fixos entre os cortes, não respeitando a altura de manejo recomendada para o capim Piatã.

Os resultados de produção de forragem observados nos SSPs indicam uma forte redução na produção pecuária nestes sistemas de produção, gerando a expectativa de que a comercialização do componente florestal compense a perda de receita da produção animal.

Para %F não houve uma variação nos cortes 2, 3, 5, 6 e 7º em relação aos sistemas de produção avaliados, desse modo estes sistemas agrícolas não interferiram na lâmina foliar dessa forrageira nestas épocas avaliadas.

Para o corte 1º (primavera), em novembro de 2015, o sistema de maior idade e densidade arbórea (SSP1) apresentou menor %F, e a maior foi observada no PS, e os demais não diferiram. No entanto, de modo geral a densidade arbórea não interferiu nesta variável, no corte 4º (verão) o sistema silvipastoris implantado em 2009 e com 166 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP2) apresentou maior valor dessa variável e o menor foi obtido no sistema mais novo e de mesma densidade arbórea (SSP4), e os demais não diferem estatisticamente (Tabela 6). Portanto, os sistemas SSPs com maiores percentagens dessa fração houve um melhor aproveitamento da forragem, deste modo, com a mesma produção de matéria seca, a forragem disponível para os animais foi mais rica em folhas, assim como no PS.

As folhas constituem o principal componente da dieta selecionada pelos animais em pastejo. Neste sentido, a produção de folhas na forragem acumulada no período experimental nos sistemas PS, SSP1, SSP2, SSP3 e SSP4, calculada com base na produção acumulada e na média da percentagem de folhas nos cortes realizados, foram de 16.081,2 (100%), 6.527,0 (40,6%), 7.568,2 (47,1%), 7.345,3 (45,7%) e 8.916,4 (55,5%) kg.ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Verifica-se que a disponibilidade de folhas nos SSPs apresentou reduções, em relação ao PS,



próximas as reduções observadas para BFOR, indicando que as diferenças nas proporções de folhas observadas nas forragens dos diferentes sistemas não foram suficientes para alterar a quantidade de folhas disponíveis aos animais.

Para a %C, porção mais fibrosa e menos digestível, nos sistemas silvipastoris SSP1, SSP2, SSP3 assim como PS foram menores no primeiro corte, elevaram no segundo corte, se mantiveram até o sexto e com redução acentuada no início das águas em novembro/2016 (Tabela 6).

Lopes et al. (2017) em condição de sombreamento natural, em sistema silvipastoril (*Acacia mangium* e *Eucalyptus grandis*). Durante a estação chuvosa estes autores obtiveram valores maiores para a %C na MS de *U. decumbens* sob SSP em 70% de sombreamento e menores a 20% e em pleno sol.

**Tabela 6** - Valores médios e desvios padrão da percentagem de lâmina foliar (%F), percentagem de colmo (%C) e percentagem de material morto (%MM) da *U. brizantha* cv. Piatã nos sistemas silvipastoris (SSP) e pastagem a pleno sol (PS) nos cortes avaliados, Sete Lagoas, MG

Percentagem de lâmina foliar (%F)								
Sist*	Cortes**							Média
	1	2	3	4	5	6	7	
SSP1	76,4 ±1,3 abB	57,27±4,7cdA	63,96 ±7,8 bcA	48,25 ±6,5deAB	43,71 ±8,5 eA	39,25 ±5,2 eA	78,66 ±1,7 aA	58,21±15,5
SSP2	76,93±2,5aAB	60,98 ±2,3 bA	59,99 ±9,3bA	51,09 ±5,2bA	51,5 ±1,2 bA	32,03 ±7,5 cA	78,38 ±1,5 aA	58,7 ±15,8
SSP3	81,05±3,5aAB	61,71±2,8 bA	51,78 ±1,5 bcA	42,54 ±3,6cdAB	41 ±7 dA	30,95 ±5,5 eA	72,01 ±4,4 aA	54,43±17,4
SSP4	80,59±3,8aAB	63,46±1,7 bA	55,72 ±1 bA	36,01 ±4,9 cB	36,13 ±4,2 cA	34,33 ±2,9 cA	73,14 ±4 aA	54,2 ±18,3
PS	82,35 ±1,8 aA	60,86±5,6bcA	51,75 ±7,9 cdA	44,59 ±8,3cdAB	42,6 ±17,1 cdA	34,95 ±2,9dA	77,34 ±4,9abA	56,36±18,5
<b>Média</b>	<b>79,46 ±3,4</b>	<b>60,86 ±3,9</b>	<b>56,64 ±7,6</b>	<b>44,49 ±7,5</b>	<b>43 ±9,7</b>	<b>34,3 ±5,4</b>	<b>75,91 ±4,3</b>	<b>56,38 ±17</b>

Percentagem de colmo (%C)								
Sist*	Corte**							Média
	1	2	3	4	5	6	7	
SSP1	23,6 ±1,3 bcA	42,7 ±4,7 aA	36,0 ±7,8 aA	35,0 ±7,4 abB	35,2 ±5,6 abAB	37,0 ±2,4 aA	21,3 ±1,7 cA	33,0 ±8,5
SSP2	23,1±2,5cdAB	39,0 ±2,3 abA	40,0 ±9,3 aA	33,6 ±5,6 abcB	28,6 ±2,3 cdB	37,2 ±3,5 abA	21,6 ±1,5 dA	31,9 ±8,2
SSP3	18,9 ±3,5 cAB	38,3 ±2,8 abA	48,2 ±1,5 aA	43,9 ±4,3 aAB	41,5 ±4,8 aA	40,8 ±8,7 aA	28,0 ±4,4 cA	37,1 ±10,4
SSP4	19,4 ±3,8 dAB	36,5 ±1,7 bcA	44,3 ±1,0 bA	54,3 ±4,2 aA	45,2 ±6,2 abA	42,9 ±6,5 bA	26,9 ±4,0dcA	38,5 ±11,9
PS	17,6 ±1,8 dB	39,1 ±5,6 abA	48,3 ±7,9 aA	41,7 ±5,0 abB	23,6 ±7,8 cdB	34,9 ±2,9 bcA	22,7 ±4,9cdA	32,6 ±11,8
<b>Média</b>	<b>20,5 ±3,4</b>	<b>39,1 ±3,9</b>	<b>43,4 ±7,6</b>	<b>41,7 ±9,0</b>	<b>34,8 ±9,6</b>	<b>38,6 ±5,6</b>	<b>24,1 ±4,3</b>	<b>34,6 ±10,5</b>

Percentagem de material morto (%MM)								
Sist*	Corte**							Média
	1	2	3	4	5	6	7	
SSP1	0,00	0,00	0,00	9,3 ±2,0	21,1 ±3,6	23,8 ±3	0,00	18,0 ±7,1 B
SSP2	0,00	0,00	0,00	8,4 ±0,7	19,9 ±3,0	30,7 ±3,9	0,00	19,7 ±9,9 AB
SSP3	0,00	0,00	0,00	7,0 ±1,4	17,5 ±3,6	28,2 ±10,6	0,00	17,6 ±10,8 B
SSP4	0,00	0,00	0,00	5,7 ±2,4	18,7 ±2,5	22,8 ±4,9	0,00	15,7 ±8,2 B
PS	0,00	0,00	0,00	13,7 ±9,6	33,8 ±14,0	30,1 ±5,9	0,00	25,8 ±13,1 A
<b>Média</b>	<b>0,00d</b>	<b>0,00d</b>	<b>0,00d</b>	<b>8,8 ±4,9 c</b>	<b>22,2 ±8,6 b</b>	<b>27,1 ±6,5 a</b>	<b>0,00d</b>	<b>19,4 ±10,3</b>

Médias seguidas de letras distintas, minúscula na linha, maiúscula na coluna, diferem pelo Teste Tukey (p<0,05). \*sistemas silvipastoris: implantado em 2009 com 333 arv. ha<sup>-1</sup> (SSP1), em 2009 com 166 arv. ha<sup>-1</sup> (SSP2), em 2011 com 333 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP3) e em 2011 com 166 arv. ha<sup>-1</sup> (SSP4) e pastagens à pleno sol (PS); \*\* Cortes: 1° - 19/11/15, 2° - 14/12/15, 3° - 19/01/16, 4° - 23/02/16, 5° - 22/03/16, 6° 18/04/16 e 7° 24/11/16

Houve elevação na %C obtida no SSP1 no 1° corte, no 4° corte houve destaque para o SSP4 embora não difere do sistema com debate das árvores (SSP3) sendo os demais

inferiores. E no 5º corte ambos sistemas de menor idade apresentou maiores percentagens dessa fração e não diferiu do SSP1 (Tabela 6).

A %MM não diferiram estatisticamente para a interação ( $p>0,05$ ) somente para fatores sistemas ( $p<0,01$ ) e cortes isolados ( $p<0,01$ ). Observou-se que este componente passou a ser detectado na forragem apenas a partir do 4º corte (Tabela 6), podendo este fato estar associado à seletividade e ao pisoteio animal ocorrido nos ciclos de pastejo anteriores.

Entre os sistemas de produção avaliados as maiores percentagens de MM foram encontradas no PS e SSP2 e menores nos demais SSPs. Nesses sistemas silvipastoris, as forrageiras apresentam redução de tecidos mortos que podem estar associados a menor velocidade de desenvolvimento das plantas e também às condições microclimáticas no sistema integrado. As plantas sob efeito de sombreamento diminuem a taxa de senescência por folha para maximizar o aproveitamento de área foliar presente e diminuir o investimento em produção de novos tecidos (Crestani, 2015).

De modo geral, em relação as %F, %C e %MM entre os sistemas avaliados, na grande maioria dos cortes não foi observada diferenças significativas entre os SSPs e o PS (Tabela 6). Neste sentido, não foram observadas correlações lineares significativas entre a RFA e as %F ( $r = 0,111^{ns}$ ) e %C ( $r = -0,137^{ns}$ ). Quando analisamos apenas os SSPs, ressalta-se que não foram observadas diferenças significativas nas proporções destes componentes em nenhum dos cortes realizados quando comparamos os sistemas de mesma idade (SSP1 x SSP2 e SSP3 x SSP4), bem como, entre os sistemas com mesma densidade arbórea (SSP1 x SSP3 e SSP2 x SSP4).

A relação folha:colmo (RFC) apresentou comportamento coerente ao comportamento das %F e %C nos cortes avaliados (Tabela 7), com maiores valores nos cortes no início da estação de crescimento (cortes 1 e 7), período das águas, e apresentando menores valores nos cortes subsequentes. De acordo com Van Soest (1994), esta RFC deve ser usada como índice de qualidade da forragem, uma vez que o valor nutritivo dos colmos é inferior e a presença dessa fração em grande quantidade no pasto prejudica a apreensão e colheita da forragem pelos animais.

**Tabela 7** - Valores médios e desvios padrão da Relação Folha: Colmo (RFC) da *U. brizantha* cv. Piatã nos sistemas silvipastoris (SSP) e pastagem a pleno sol (PS) nos cortes avaliados, Sete Lagoas, MG

Sist*	Relação Folha: Colmo (RFC)							Média
	Corte **							
	1	2	3	4	5	6	7	
SSP1	3,4 ±0,4 abA	1,4 ±0,3 cdA	2,4 ±1,0 bcA	1,5 ±0,5 cdA	1,4 ±0,5 cdA	1,1 ±0,2 dA	3,9 ±0,4 aA	2,2 ±1,2
SSP2	3,5 ±0,4 aA	1,6 ±0,2 bcA	1,7 ±0,6bcAB	1,7 ±0,5 bcA	1,9 ±0,2 bA	0,9 ±0,3 bA	3,9 ±0,3 aA	2,2 ±1,1
SSP3	4,6 ±0,7 aA	1,7 ±0,2 cA	1,1 ±0,1 Cb	1,0 ±0,2 cAB	1,1 ±0,4 cA	0,8 ±0,2 cA	2,7 ±0,6 bA	1,9 ±1,3
SSP4	3,9 ±1,5 aA	1,8 ±0,1 bcA	1,3 ±0,1 cB	0,7 ±0,2 cB	0,8 ±0,2 cA	0,9 ±0,3 cA	2,9 ±0,6 abA	1,8 ±1,3
PS	4,7 ±0,6 aA	1,6 ±0,4 cA	1,1 ±0,4 cB	1,1 ±0,3 cAB	2,1 ±1,1 bcA	1,0 ±0,0 cA	3,6 ±1,0 abA	2,2 ±1,5
<b>Média</b>	<b>4,0 ±0,9</b>	<b>1,6 ±0,3</b>	<b>1,5 ±0,7</b>	<b>1,2 ±0,5</b>	<b>1,5 ±0,7</b>	<b>0,9 ±0,2</b>	<b>3,4 ±0,8</b>	<b>2,0 ±1,3</b>

Médias seguidas de letras distintas, minúscula na linha, maiúscula na coluna, diferem pelo Teste Tukey, nível de significância de 5%. \*sistemas silvipastoris: implantado em 2009 com 333 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP1), em 2009 com 166 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP2), em 2011 com 333 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP3) e em 2011 com 166 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP4) e pastagens à pleno sol (PS); \*\* Cortes: 1º - 19/11/15, 2º - 14/12/15, 3º - 19/01/16, 4º - 23/02/16, 5º - 22/03/16, 6º 18/04/16 e 7º 24/11/16

Em relação a comparação entre os sistemas avaliados, exceto pelo SSP1 no 3º corte que apresentou valor superior, a pastagem a PS apresentou RFC semelhantes a todos os SSPs, em todos os cortes (Tabela 7), não houve correlação significativa entre RFA e RFC ( $r = 0,107^{ns}$ ). Da mesma forma, verificou-se valor significativamente superior apenas para o SSP1 em relação ao SSP2 no 3º corte quando comparados os SSPs com mesma idade, não ocorrendo diferenças significativas quando comparados os sistemas com densidades arbóreas semelhantes (Tabela 7).

Entretanto, Soares et al. (2009) avaliaram diferentes espécies forrageiras em diferentes níveis de luminosidade proporcionada pelo *Pinus taeda*, em dois arranjos, notaram que na maioria das espécies avaliadas a RFC foi maior com redução da luminosidade sob a copa das árvores (2,26) que a pleno sol (1,47). O aumento decorrente do sombreamento proporciona modificações nas folhas em sua estrutura. Corroborando com o presente trabalho Santos et al. (2014), avaliaram o mesmo capim-Piatã quando sombreado em SSPs com eucaliptos e verificou algumas alterações morfológicas deste capim para se adaptar a menor radiação. Essas mudanças podem ter sido proporcionais, nas folhas e hastes pois não alteraram RFC.

Em relação a qualidade de forragem, no teor da PB foi observado efeito significativo para os sistemas, épocas de cortes e houve a interação significativa entre sistemas e corte para planta inteira e suas frações ( $P < 0,05$ ) (Tabela 8).

**Tabela 8** – Teores médios e desvios padrão da proteína bruta da planta inteira, folha e colmo do *U. brizantha* cv. Piatã nos sistemas silvipastoris (SSP) e pastagem a pleno sol (PS) nos cortes avaliados, Sete Lagoas, MG

Proteína bruta na planta inteira (%PBpi)								
Sist*	Corte**							Média
	1	2	3	4	5	6	7	
SSP1	11,1 ±0,5 bBC	11,7±0,5abB	11,4 ±0,4 bA	11,0 ±0,9 bAB	11,1 ±1,1 bA	10,1±0,6bA	13,5 ±1,2 aA	11,4 ±1,2
SSP2	13,0 ±1,1 aAB	9,2 ±0,6 bC	11,0 ±2,0 abA	10,2 ±0,7 bAB	10,2 ±0,7 bA	8,6 ±0,8 bAB	9,7 ±1,0 bB	10,3 ±1,7
SSP3	15,4 ±0,8 aA	14,1±0,7abA	13,0±0,4abcA	12,1 ±1,3bcA	11,4±1,1cdA	9,4±0,9Da	14,8 ±2,1 bA	12,9 ±2,2
SSP4	14,1 ±0,7 aA	14,0±1,0aAB	11,6 ±0,4 bcA	10,7 ±1,0dcAB	10,1±0,9dcA	9,2 ±0,3 dA	12,6 ±0,6 baA	11,8 ±1,9
PS	8,8 ±2,0 cdC	12,0±1,9abAB	11,5 ±1,6abcA	9,2 ±0,8bcdB	7,9 ±0,7 dB	7,5 ±1,1 dB	12,6 ±0,7 aA	9,9 ±2,3
<b>Média</b>	<b>12,5 ±2,6</b>	<b>12,2 ±2,1</b>	<b>11,7 ±1,3</b>	<b>10,6 ±1,3</b>	<b>10,2 ±1,5</b>	<b>8,9 ±1,1</b>	<b>12,7 ±2,0</b>	<b>11,3 ±2,2</b>
Proteína bruta na Folha (%PBf)								
Sist*	Corte**							Média
	1	2	3	4	5	6	7	
SSP1	11,4 ±0,8 cB	13,9±0,4abB	13,2±1,0abcAB	12,5±1,0bcAB	14,7 ±0,5 aA	13,7 ±0,4 abA	14,7 ±1,4 aA	13,5 ±1,4
SSP2	13,6 ±1,3 aAB	12,1 ±0,9 aB	12,1 ±1,1aAB	11,5 ±0,6 aB	13,3±1,9aAB	12,6 ±0,6 aA	11,8 ±1,6 aA	12,5 ±1,3
SSP3	15,8 ±0,4 abA	17,3 ±0,3 aA	14,2 ±0,2bcA	15,7 ±1,2 abA	14,5 ±0,4bcA	13,6 ±1,6 bA	17,3 ±1,1 aA	15,5 ±1,6
SSP4	15,4 ±0,9 abA	16,1 ±1,0 aA	11,7 ±0,5 bB	14,8 ±0,5abAB	13,4±0,7abAB	14,0 ±0,6 abA	11,7 ±4,5 bA	13,9 ±2,3
PS	13,5±2,4aAB	13,5 ±1,7 aB	12,57±1,7 aAB	11,7 ±2,9 aB	10,8 ±3,0 aB	14,0 ±2,0 aA	11,4 ±4,3 aA	12,49±2,0
<b>Média</b>	<b>14,0 ±2,0</b>	<b>14,6 ±2,1</b>	<b>12,7 ±1,0</b>	<b>13,2 ±2,2</b>	<b>13,4 ±2,0</b>	<b>13,6 ±1,2</b>	<b>13,4 ±3,6</b>	<b>13,5 ±1,62</b>

**Continuação Tabela 8** – Teores médios e desvios padrão da proteína bruta da planta inteira, folha e colmo do *U. brizantha* cv. Piatã nos sistemas silvipastoris (SSP) e pastagem a pleno sol (PS) nos cortes avaliados, Sete Lagoas, MG

Proteína bruta no Colmo (%PBc)								
Sist*	Corte**							Média
	1	2	3	4	5	6	7	
SSP1	6,5 ±1,5 bB	7,7 ±0,5 abB	7,1 ±0,7 abA	7,6 ±0,3 abA	6,6 ±0,3 bB	6,6 ±0,5 bAB	8,8 ±1,4 aAB	7,3 ±1,1
SSP2	6,7 ±0,3 abB	7,3 ±0,1 abB	6,9 ±0,6 abA	6,8 ±0,4 abA	6,8 ±0,7abAB	6,1 ±0,2 bAB	7,6 ±1,1 aB	6,9 ±0,7
SSP3	9,9 ±0,5 abA	10,1 ±0,2 aA	8,3 ±0,5 cA	8,7 ±0,7 bcA	7,9 ±0,3 cdA	6,8 ±0,3 dAB	10,6 ±1 aA	8,9 ±1,4
SSP4	10,8 ±0,8 aA	9,6 ±0,4 abA	6,9 ±0,6 cdA	7,9 ±0,8bcdA	7,4 ±0,5bcdAB	5,9 ±0,5 dB	8,3 ±2,1bcAB	8,1 ±1,8
PS	6,6 ±1,8 cB	9,1 ±1,1 abA	7,43 ±1,7 bcA	7,1 ±1,8 cA	6,6 ±0,7 cB	7,3 ±0,9 bcA	9,7 ±0,5aAB	7,7 ±2,4
<b>Média</b>	<b>8,1 ±2,2</b>	<b>8,7 ±1,2</b>	<b>7,34 ±1,0</b>	<b>7,6 ±1,1</b>	<b>7,1 ±0,7</b>	<b>6,6 ±0,7</b>	<b>9,0 ±1,6</b>	<b>7,8 ±0,7</b>

Médias seguidas de letras distintas, minúscula na linha, maiúscula na coluna, diferem pelo Teste Tukey, nível de significância de 5%. \*sistemas silvipastoris: implantado em 2009 com 333 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP-1), em 2009 com 166 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP-2), em 2011 com 333 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP-3) e em 2011 com 166 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP-4) e pastagens à pleno sol (PS); \*\* Cortes: 1° - 19/11/15, 2° - 14/12/15, 3° - 19/01/16, 4° - 23/02/16, 5° - 22/03/16, 6° 18/04/16 e 7° 24/11/16

Outro aspecto importante, é que o maior teor de PBpi nas plantas sombreadas em sistemas silvipastoris pode ser explicado pela teoria da diluição de nitrogênio de Leimare; Chartier (1992) *apud* Soares et al (2009), segundo a qual existe uma porcentagem de N ideal para determinado nível de produção de MS. Deste modo, a pleno sol ocorreu maior produção de MS, diluindo mais o N absorvido para as partes aéreas da planta.

Entre os SSPs com maior tempo de maturação (SSP1 e SSP2), também foi observado a redução na PB da forragem no SSP2, com menor densidade arbórea, nos cortes 2 e 7 (Tabela 8). Corroborando esta tendência de menores teores de PB na forragem produzida em sistemas com maior nível de sombreamento, foi verificada uma correlação inversa entre RFA e PBpi ( $r = -0,694^{**}$ ). Assim, a radiação incidente pode afetar negativamente a PB e pode ser confirmado pelos resultados que mostram que o teor de PB das plantas é maior em sistema sombreado, ou seja, com menor RFA.

Nos sistemas com o componente arbóreo mais jovem, a PB se manteve alta e depois decresceram a partir da segunda metade da estação chuvosa até aumento no mês de janeiro/2016. O comportamento do PS foi diferenciado para teores de PB, com aumento em dezembro e decrescendo até o início da estação seca. Em relação as variações nos teores de PBpi entre os cortes, observou-se uma redução nos teores médios de PB com o avanço da estação de crescimento (Tabela 8), em virtude do aumento da proporção de colmos na massa forrageira com o avanço na estação de crescimento (Tabela 6).

Os sistemas silvipastoris, na primavera (corte 1°), apresentaram teor médio de PB de 10,9%, superior em 20% em relação ao teor de PB em monocultivo à PS, corroborando com Sousa et al. (2007) que verificaram que o sombreamento proporcionado pela *Z. tuberculosa*, apesar de reduzir a produção de MS da gramínea, favoreceu o aumento de 29% no teor de PB e não alterou a produção de PB ha<sup>-1</sup> e nem afetou a concentração de FDN.

A estimativa da produção acumulada de PB na forragem de planta inteira (PPBpi, kg.ha<sup>-1</sup>), calculada com base na BFOR e teor de PB médio de cada sistema, foi de 2.824,8 (100%), 1.278,4 (45,3%), 1.327,9 (47,0%), 1.740,9 (61,6%) e 1.941,2 (68,7%) kg.ha<sup>-1</sup> para os

sistemas PS, SSP1, SSP2, SSP3 e SSP4, respectivamente. Estas produções de PB acumuladas no período experimental nos sistemas avaliados indicam uma redução na produção deste nutriente nos SSPs variando entre 31,3 e 54,7%, com as menores reduções verificadas nos sistemas com menor tempo de implantação (SSP3 e SSP4). A redução média nas PPBpi foi de 21,2% nos sistemas menos adensados e de 16,3% nos sistemas mais adensados com o avanço de 2 anos no tempo de implantação dos sistemas.

Ressalta-se que as quedas de produtividade da PPBpi entre os sistemas SSPs e PS foram menos expressivas que as quedas observadas para a produção de forragem acumulada (BFOR) em função dos maiores teores médios de PB da forragem produzida nos ambientes sombreados. Fato também observado com a produção de PB na forragem de folhas (PPBf, kg.ha<sup>-1</sup>), principalmente nos SSPs mais jovens. As produções PPBf apresentaram de 2008,5 (100%), 881,2 (43,9%), 946,0 (47,1%), 1.138,5 (56,7%) e 1.239,4 (61,7%) kg.ha<sup>-1</sup> para os sistemas PS, SSP1, SSP2, SSP3 e SSP4, respectivamente.

Os valores médios dos teores de PBf apresentaram comportamento mais estável no decorrer da estação de crescimento (Tabela 8). Analisando-se a PBf entre os sistemas, nos diferentes cortes, verificou-se uma tendência de maiores teores de PB nas folhas de alguns SSPs em relação ao PS (cortes 2, 4 e 5), bem como, quando analisamos apenas os SSPs, observou-se uma tendência de maiores teores de PB nos sistemas mais jovens (SSP3 e SSP4) e, entre sistemas de mesmo tempo de implantação, maiores teores nos sistemas com maior densidade arbórea (SSP1 e SSP3).

Em um sistema silvipastoril com leguminosas arbóreas, como a *Acacia mangium*, a arbustiva *Leucaena leucocephala* x *L. diversifolia* e o *Eucalyptus grandis* Paciullo et al. (2007) verificaram a influência de sombreamento na qualidade da *Brachiaria decumbens*. Na folha observaram teores de PB de 12,4% e 9,6% a pleno sol. Na fração colmo não ocorreu variação no teor de PB com 4,7 e 4,6%, em condição de sombreamento (com densidade de 110 árv. ha<sup>-1</sup>, na área total, e 330 árv. ha<sup>-1</sup> apenas nas faixas com árvores) e a pleno sol, respectivamente. Estes autores verificaram ainda que o sombreamento não influenciou nos teores de FDA e lignina.

O maior teor de PB nas lâminas foliares das plantas sombreadas em sistemas silvipastoris mais novos pode ser explicado pela teoria da diluição de nitrogênio (N) de Leimare; Chartier (1992) referido por Soares et al (2009), segundo a qual existe uma porcentagem de N ideal para determinado nível de produção de MS. Deste modo, a pleno sol ocorreu maior produção de MS, diluindo mais o N absorvido.

No SSP's verificaram-se maiores teores de PB e menores para fibras, independente das densidades arbóreas, mas reduziu com menor tempo de implantação ao longo dos cortes avaliados. Esses resultados corroboram com os encontrados por Guenni et al. (2008), ao verificarem aumento nas concentrações de N na folha de *U. decumbens* com a redução da intensidade da luz. A redução da luminosidade de 100% para 27% aumentou os teores do mineral de 27g kg<sup>-1</sup> para 32g de N kg<sup>-1</sup> de lâmina foliar sem adubação nitrogenada. Por outro lado, com a aplicação de 70 kg de N ha<sup>-1</sup> os teores foram de 21g kg<sup>-1</sup> para 32g de N kg<sup>-1</sup> de lâmina foliar, respectivamente.

No sistema silvipastoril de maior idade (SSP1 e SSP2), o teor de PB da fração colmo apresentou estável nas águas e com decréscimos apenas no início da estação seca e elevação somente no início do outro período das águas (Tabela 8).

Já nos sistemas mais novos (SSP3 e SSP4), independente da densidade arbórea houve teores de PB da fração colmo no início e foi reduzindo até aumento no início das águas.

Na ausência de árvores foram obtidos os menores valores de PB do colmo. Como verificado com o teor de PBf, em condição de sombreamento no SSPs, a PB dessa fração foram superiores valores quando se comparado ao PS.

Verificou-se algumas variações significativas nos teores de FDN da forragem de planta inteira, folhas ( $p < 0,05$ ), sendo não significativa, na fração colmo, para interação sistemas e cortes avaliados (Tabela 9).

**Tabela 9** – Teores médios e desvios padrão da fibra em detergente neutro (FDN) da *U. brizantha* cv. Piatã nos sistemas silvipastoris (SSP) e pastagem a pleno sol (PS) nos cortes avaliados, Sete Lagoas, MG

FDN Planta inteira (%)								
Sist*	Corte **							Média
	1	2	3	4	5	6	7	
SSP1	69,6 ±1,0 aA	70,0 ±0,9 aAB	70,8 ±0,9 Aa	72,0 ±1,4 aAB	70,8 ±1,7 aB	71,5 ±0,8 aB	66,7 ±0,9 bA	70,2 ±1,9
SSP2	66,4 ±0,4 cBC	72,9 ±0,7 abA	72,0 ±3,1abA	72,4 ±0,8abAB	72,2 ±1,2 abB	73,9 ±1,4 aAB	69,8 ±2,1 bcA	71,4 ±2,8
SSP3	66,1 ±1,2 cC	67,5 ±1,0 bcB	69,6 ±1,5abcA	71,0 ±1,9 abB	72,2 ±1,7 aB	72,6 ±1,3 aB	66,9 ±2,7 cA	69,4 ±2,9
SSP4	64,6 ±0,4 dC	68,2 ±1,1 cB	71,6 ±0,9 bA	73,9 ±1,4 aA	73,5 ±1,3abAB	72,5 ±0,7 abB	69,0 ±0,7cA	70,5 ±3,3
PS	68,4 ±1,4 cAB	69,3 ±3,6 cAB	70,3 ±2,7 bcA	74,1 ±0,6abA	76,2 ±1,4 aA	75,7 ±1,7 aA	68,2 ±0,7 cA	71,7 ±3,7
<b>Média</b>	<b>67,0 ±2,0</b>	<b>69,6 ±2,5</b>	<b>70,9 ±2,0</b>	<b>72,7 ±1,7</b>	<b>73,0 ±2,3</b>	<b>73,3 ±1,9</b>	<b>68,1 ±1,9</b>	<b>70,6 ±3,1</b>
FDN Folha (%)								
Sist*	Corte **							Média
	1	2	3	4	5	6	7	
SSP1	67,4 ±1,2	67,5 ±0,6	67,9 ±1,2	67,9 ±1,3	64,8 ±0,9	65,5 ±0,4	64,7 ±1,5	66,5 ±1,7A
SSP2	64,0 ±0,8	69,2 ±1,2	69,3 ±1,7	69,9 ±1,0	61,0 ±8,0	67,2 ±0,9	68,8 ±1,9	67,1 ±4,3A
SSP3	63,6 ±1,1	63,5 ±1,0	66,8 ±1,0	65,8 ±1,3	64,6 ±0,9	61,2 ±8,5	62,6 ±0,9	64,0 ±3,5A
SSP4	63,5 ±0,7	64,2 ±0,8	69,8 ±0,8	66,3 ±0,8	65,6 ±0,8	65,9 ±0,8	62,1 ±9,4	65,3 ±4,0A
PS	63,1 ±2,7	66,8 ±1,9	67,9 ±1,3	67,9 ±4,0	70,2 ±6,2	64,9 ±1,9	61,9 ±9,2	66,1 ±0,9A
<b>Média</b>	<b>64,3 ±2,1 c</b>	<b>66,2 ±2,4 abc</b>	<b>68,3 ±1,25 a</b>	<b>67,5 ±2,4 ab</b>	<b>65,2 ±5,1 abc</b>	<b>64,9 ±4,1 bc</b>	<b>64,0 ±6,0 c</b>	<b>65,8 ±4,5</b>
FDN Colmo (%)								
Sist*	Corte**							Média
	1	2	3	4	5	6	7	
SSP1	71,1 ±4,1	74,7 ±0,9	78,4 ±0,9	76,3 ±0,5	77,1 ±0,7	74,0 ±1,1	73,2 ±1,8	75,0 ±2,8B
SSP2	74,2 ±1,4	76,3 ±0,4	79,6 ±0,6	76,8 ±1,0	76,5 ±1,1	75,3 ±1,1	75,4 ±0,9	76,3 ±1,8A
SSP3	69,4 ±0,4	72,2 ±0,6	76,1 ±0,7	75,7 ±1,6	75,1 ±1,0	72,8 ±0,7	72,5 ±0,7	73,4 ±2,4C
SSP4	70,9 ±1,5	71,5 ±0,9	76,3 ±0,3	76,7 ±2,0	76,9 ±0,4	73,2 ±1,1	72,6 ±4,6	74,0 ±3,0BC
PS	68,2 ±2,7	73,6 ±1,6 ab	78,9 ±1,3	77,1 ±3,7	77,6 ±1,6	74,3 ±1,9	71,7 ±0,9	74,5 ±4,1BC
<b>Média</b>	<b>70,8 ±3,0 c</b>	<b>73,7 ±2,0 b</b>	<b>77,9 ±1,7 a</b>	<b>76,5 ±1,9 a</b>	<b>76,6 ±1,3 a</b>	<b>73,9 ±1,4 b</b>	<b>73,1 ±2,4 b</b>	<b>74,6 ±2,42</b>

Médias seguidas de letras distintas, minúscula na linha, maiúscula na coluna, diferem pelo Teste Tukey, nível de significância de 5%. \*sistemas silvipastoris: implantado em 2009 com 333 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP-1), em 2009 com 166 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP-2), em 2011 com 333 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP-3) e em 2011 com 166 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP-4) e pastagens à pleno sol (PS); \*\* Cortes: 1° - 19/11/15, 2° - 14/12/15, 3° - 19/01/16, 4° - 23/02/16, 5° - 22/03/16, 6° 18/04/16 e 7° 24/11/16

Com exceção do FDN nas folhas do primeiro corte, os teores de FDN de planta inteira e de folhas nos sistemas SSPs foram superiores ou estatisticamente iguais aos valores observados no PS (Tabela 9).

Quando comparados SSPs de mesma idade não foi observado efeito do desbaste das árvores sobre os teores de FDN da forragem de planta inteira e de folhas, com exceção dos sistemas mais antigos (SSP1 x SSP2) no 1º corte e dos sistemas mais jovens (SSP3 x SSP4) no 4º corte.

Houve uma correlação forte entre FDN e PB de forma negativa ( $r = -0,94$ ), desse modo, à medida que aumenta o teor de fibras (FDN) reduz o teor nutritivo (PB).

De modo geral o FDN, em todos os sistemas se elevou com o avanço de estação de crescimento (Tabela 9), provavelmente decorrente da maior quantidade de colmo e material morto, também verificado neste trabalho (Tabela 6).

Santana (2017), avaliando os ILP, ILPF com densidade de 196 e 448 árvores de eucalipto ha<sup>-1</sup> verificaram que os teores de FDN foram influenciados pelas estações do ano, sendo relacionados às condições climáticas e balanço hídrico, apresentando média de 71,76%.

As plantas no PS foram associadas ao maior teor de FDN se comparado aos SSPs (Tabela 9). Embora, Sousa et al. (2010) analisando a *U. brizantha* em consórcio com aroeira (*Myracrodruon urundeuva*) com densidade populacional (140 árvores hectare), não constataram efeito do sistema sobre os teores de FDN, FDA e matéria mineral. No entanto, verificaram redução dos teores de MS e aumento na PB. Os autores atribuíram os resultados para a fração fibrosa à menor densidade de arbóreas.

No início do ciclo de pastejo, o sistema de maior idade e densidade arbórea apresentou elevado FDN assim como PS (Tabela 9). No corte seguinte, os menores teores para FDN foram obtidos nos sistemas silvipastoris mais novos, embora não diferem do PS e SSP1. É possível constatar que nos períodos das águas houve uma similaridade entre os sistemas avaliados (corte 3 e 7). Em fevereiro, 4º corte, os sistemas assemelharam ao PS, sendo inferior no SSP3. Na estação de outono, os SSPs apresentaram teores de FDN inferior ao PS e não diferiram entre si. Alterações nesta variável não foram capazes de inferir de forma evidente quanto o efeito dos sistemas avaliados, visto que a correlação entre FDN e RFA foi moderada ( $r=0,68^{**}$ ). Paciullo et al. (2007), encontraram valores de FDN menores sob a copa das árvores (73,1%) do que a pleno sol (75,9%).

Os teores de FDN proporcionaram um comportamento estatisticamente diferente nas frações folha e colmo ao observado na planta inteira nos cortes avaliados (Tabela 9).

As fibras na fração folha para os SSPs implantado há sete anos (SSP1 e SSP2) demonstraram altos teores FDN ao longo dos cortes e redução no 5º corte, embora no SSP2 elevou-se no 7º corte. O FDN foliar nos sistemas mais novos apresentou uma constância ao longo do ciclo. Comportamento diferenciado foi verificado no PS com menores teores de FDN foliar no início das avaliações, apresentou elevação em janeiro, e posteriormente decresceu (Tabela 9).

Corroborando com Campos et al. (2002) que avaliaram a degradabilidade da MS e o FDN de *Pennisetum purpureum*, capim-elefante, com diferentes idades de crescimento, constataram que a haste é porção da planta que mais influencia no processo digestivo animal, por causa da sua lignificação com o avançar do crescimento vegetativo. Segundo Mertens (1997), a atividade de mastigação do animal está relacionada ao teor de FDN e tamanho de partículas do alimento e estabelecem uma estratificação bifásica do conteúdo ruminal, contribuindo para formação de uma camada flutuante de partículas grandes sobre um *pool* de

líquido e partículas pequena. Neste sentido, verificou-se que há uma correlação forte e negativa ( $r=-0,81^{**}$ ) entre FDN e DIVMS, ou seja, à medida que aumenta o teor de FDN reduz a DIVMS.

Para os teores de FDA, hemicelulose e conteúdo celulose de planta inteira, folhas e colmos, que mesmo apresentando algumas diferenças significativas ( $p>0,05$ ) entre alguns sistemas em alguns cortes e interação destes fatores (Tabelas 10, 12 e 13), estas pequenas variações não permitem maiores inferências sobre o efeito dos sistemas sobre estes parâmetros.

A FDA infere sobre a percentagem de material altamente indigestível presente na forragem. As fibras assim como na fração folha e na planta inteira demonstrou aumento gradual entre os cortes analisados com reduções nos períodos das águas, em novembro 2015/2016 (Tabela 10).

**Tabela 10** – Teores médios e desvios padrão da fibra em detergente ácido (FDA) da *U. brizantha* cv. Piatã nos sistemas silvipastoris (SSP) e pastagem a pleno sol (PS) nos cortes avaliados, Sete Lagoas, MG

FDA Planta inteira (%)								
Sist*	Cortes**							Média
	1	2	3	4	5	6	7	
SSP1	35,4 ±1,0 bcA	36,8 ±0,1 abAB	36,2 ±0,9abcA	38,8 ±2,0 aA	37,1 ±1,1 abB	37,3 ±0,4 abC	33,7 ±1,4 cA	36,5 ±1,8
SSP2	32,8 ±0,7 cA	38,0 ±0,4 aA	36,3 ±2,4 abA	38,4 ±0,6 aA	37,7 ±1,4 abB	38,6 ±1,3 aBC	34,9 ±1,2bcA	36,7 ±2,3
SSP3	34,1 ±0,7 bcA	33,9 ±0,7 cB	34,7 ±1,4 bcA	36,9 ±1,2 abA	38,4 ±1,4 aB	39,7 ±1,2 aAB	33,0 ±1,7 cA	35,8 ±2,6
SSP4	33,8 ±0,4 bA	34,4 ±1,0 bB	35,2 ±0,6 bA	39,1 ±1,4 aA	38,9 ±1,6 aB	39,3 ±0,6 aBC	34,0 ±0,7 bA	36,4 ±2,6
PS	34,4 ±3,3 bA	34,7 ±2,8 bB	34,1 ±2,0 bA	38,1 ±0,8 abA	41,9 ±1,3 aA	41,5 ±1,0 aA	34,4 ±0,9 bA	37,0 ±3,7
<b>Média</b>	<b>34,1 ±1,7</b>	<b>35,6 ±2,0</b>	<b>35,3 ±1,7</b>	<b>38,2 ±1,4</b>	<b>38,8 ±2,1</b>	<b>39,3 ±1,7</b>	<b>34,0 ±1,3</b>	<b>36,5 ±2,7</b>

FDA Folha (%)								
Sist*	Cortes**							Média
	1	2	3	4	5	6	7	
SSP1	33,2 ±1,4abcA	34,5 ±0,5 abA	34,4 ±1 abA	35,4 ±1,6 aA	30,6 ±0,7 dA	32,9 ±0,5bcdA	31,2 ±1,1 cdA	33,2 ±1,9
SSP2	30,3 ±0,5 bcB	35,1 ±0,9 aA	34,5 ±1,6 aA	36,1 ±0,9aAB	28,5 ±3,6 cA	32,9 ±0,7 abA	33,2 ±1,5 abA	32,9 ±3
SSP3	31,0 ±1,1 aAB	30,8 ±0,7 aC	32,9 ±0,9 aA	32,4 ±0,4aC	30,3 ±0,7 aA	30,2 ±4,1 aA	29,9 ±0,5 aA	31 ±1,8
SSP4	30,9 ±0,6abAB	31,3 ±0,2 abBC	34,2 ±0,8 aA	31,4 ±0,5 abC	31 ±0,4 abA	32,2 ±0,7 abA	29,6 ±4,4 bA	31,5 ±2
PS	33,0 ±1,5 abA	32,4 ±0,7 abB	32,2 ±1,2 abA	33,2 ±2 abC	34,7 ±5,9 aA	32,3 ±0,9 abA	29,8 ±4,6 bA	32,5 ±1,7
<b>Média</b>	<b>31,7 ±1,6</b>	<b>32,8 ±1,8</b>	<b>33,6 ±1,12</b>	<b>33,7 ±2,1</b>	<b>31 ±3,5</b>	<b>32,1 ±2</b>	<b>30,7 ±3</b>	<b>32,2 ± 1,7</b>

FDA colmo (%)								
Sist*	Corte**							Média
	1	2	3	4	5	6	7	
SSP1	37,8 ±6,1	42,8 ±1,5	46,7 ±0,8	43,5 ±1,1	44,2 ±0,7	40,0 ±1,1	40,8 ±2,3	42,2 ±3,6AB
SSP2	43,8 ±1,6	43,1 ±1,0	46,7 ±0,7	43,7 ±0,7	42,3 ±1,3	40,3 ±1,7	41,6 ±0,9	43,1 ±2,2 A
SSP3	38,0 ±0,6	39,6 ±0,4	44,2 ±0,7	41,7 ±1,6	42,1 ±1,2	40,5 ±1,0	39,6 ±0,4	40,8 ±2,1B
SSP4	38,4 ±1,6	38,3 ±0,6	44,3 ±0,6	43,0 ±2,1	42,5 ±0,3	40,6 ±1,4	38,0 ±5,5	40,7 ±3,2B
PS	35,5 ±6,4	39,4 ±2,2	32,3 ±1,2	42,1 ±3,1	44,1 ±2,5	40,7 ±2,0	39,5 ±1,5	40,8 ±3,0B
<b>Média</b>	<b>38,7 ±4,6 d</b>	<b>40,6 ±2,3 cd</b>	<b>45,29 ±1,4 a</b>	<b>42,8 ±1,9 bc</b>	<b>43,0 ±1,6 b</b>	<b>40,4 ±1,3 d</b>	<b>39,9 ±2,8 d</b>	<b>41,5 ±2,5</b>

Médias seguidas de letras distintas, minúscula na linha, maiúscula na coluna, diferem pelo Teste Tukey, nível de significância de 5%.

\*sistemas silvipastoris: implantado em 2009 com 333 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP-1), em 2009 com 166 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP-2), em 2011 com 333 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP-3) e em 2011 com 166 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP-4) e pastagens à pleno sol (PS); \*\* Cortes: 1° - 19/11/15, 2° - 14/12/15, 3° - 19/01/16, 4° - 23/02/16, 5° - 22/03/16, 6° 18/04/16 e 7° 24/11/16



Entre os sistemas avaliados verifica-se que se assemelharam quanto ao FDA na MS da planta inteira do capim-Piatã na maioria dos cortes (Tabela 10).

Souza et al. (2007) relataram os teores de FDA mais altos em SSP aos encontrados no PS, o que provavelmente resultou em menor degradabilidade in vitro da MS e da matéria orgânica, não alterando a degradabilidade efetiva.

Os teores de FDA apresentaram comportamento estatisticamente diferente nas frações folhas e colmos ao observado na planta inteira nos cortes avaliados (Tabela 10). Esses resultados estão condizentes com a literatura, em que, para diferentes espécies de forrageiras, observou-se o melhor valor nutritivo das lâminas foliares em comparação ao do colmo (Paciullo et al., 2007; Santana, 2017). Na fração colmo, o FDA apresentou maiores valores que as demais frações da planta, por esta fração apresentar função estrutural (Tabela 10). Para esta resposta, no início dos cortes avaliados foi aumentando gradativamente até o terceiro corte e manteve-se até o quinto corte, reduzindo. E entre os sistemas, apresentaram variação com maiores valores em sistemas mais tempo implantado independente da densidade arbórea e menores nos sistemas novos assim como a PS (Tabela 10).

Quanto ao conteúdo celulose na forrageira nos sistemas, verificou-se um comportamento padrão de somente maiores valores nas estações chuvosas (Tabela 11).

**Tabela 11** – Valores médios e desvios padrão do conteúdo celulose (CC) da planta inteira, folhas e colmos na forrageira da *U. brizantha* cv. Piatã nos sistemas silvipastoris (SSP) e pastagem a pleno sol (PS) nos cortes avaliados, Sete Lagoas, MG

Conteúdo celulose de planta inteira								
Sist*	Corte**							Média
	1	2	3	4	5	6	7	
SSP1	30,4 ±1 bcAB	30,0 ±0,9 bAB	29,2 ±0,9 bA	28,0 ±1,4bAB	29,2 ±1,7 bA	28,5 ±0,8 bA	33,3 ±0,9 aA	29,8 ±1,9
SSP2	33,6 ±0,4 aAB	27,1 ±0,7 bB	28,0 ±3,1 bcA	27,6±0,8bcAB	27,8 ±1,2 bcA	26,1 ±1,4 cAB	30,2 ±2,1 abA	28,6 ±2,8
SSP3	33,9 ±1,2 aA	32,5 ±1 abA	30,4 ±1,5 abcA	29,0 ±1,9 bcA	27,8 ±1,7 cA	27,4 ±1,3 cA	33,1 ±2,7 aA	30,6 ±2,9
SSP4	35,4 ±0,4 aA	31,8 ±1,1 bA	28,4 ±0,9 cA	26,1 ±1,4 dB	26,5 ±1,3 cdA	27,5±0,7 cdA	31,0 ±0,7 bA	29,5 ±3,3
PS	36,9 ±2,7 abcB	29,1 ±5,6 abAB	30,7 ±3,6 abcA	29,7±2,7abcB	25,9 ±0,6 cA	23,8 ±1,4 bcB	24,3 ±1,7 aA	31,8 ±0,7
<b>Média</b>	<b>32,5 ±3,3</b>	<b>30,4 ±2,5</b>	<b>29,1 ±2</b>	<b>27,3 ±1,7</b>	<b>27,0 ±2,3</b>	<b>26,7 ±1,9</b>	<b>31,9 ±1,9</b>	<b>29,3 ±3,1</b>

Conteúdo celulose de folha								
Sist*	Corte**							Média
	1	2	3	4	5	6	7	
SSP1	32,6 ±1,2 bB	32,5 ±0,6 bB	32,1 ±1,2 bAB	32,1 ±1,3 bA	35,2 ±0,9 aA	34,5 ±0,4 abA	35,3 ±1,5 aA	33,5 ±1,7
SSP2	36,0 ±0,8 abA	30,8 ±1,2 bB	30,7 ±1,7 bAB	30,2 ±1,0 bA	39,0 ±8,0 aA	32,8±0,9abAB	31,2 ±1,9 bA	32,9 ±4,3
SSP3	36,4 ±1,1 aA	36,5 ±1,0 aA	33,2 ±1,0 aA	34,2 ±1,3 aA	35,4 ±0,9 aA	38,8 ±8,5 aA	37,4 ±0,9 aA	36,0 ±3,5
SSP4	36,5 ±0,7 aA	35,8 ±0,8 abA	30,2 ±0,8 abB	33,7 ±0,8 abA	34,4±0,8 abA	34,1 ±0,8 abA	29,1 ±8,1 bA	33,4 ±3,8
PS	36,9 ±2,7 aA	33,2 ±1,9 abB	32,04 ±1,3 abAB	32,1 ±4,0 abA	29,8 ±6,2 bA	35,1 ±1,9 abB	29,4 ±8,3 bA	32,6 ±3,0
<b>Média</b>	<b>35,7 ±2,1</b>	<b>33,8 ±2,4</b>	<b>31,64 ±1,25</b>	<b>32,5 ±2,4</b>	<b>34,8 ±5,1</b>	<b>35,1 ±4,1</b>	<b>32,5 ±5,8</b>	<b>33,7 ±2,4</b>

**Continuação Tabela 11** – Valores médios e desvios padrão do conteúdo celulose (CC) da planta inteira, folhas e colmos na forrageira da *U. brizantha* cv. Piatã nos sistemas silvipastoris (SSP) e pastagem a pleno sol (PS) nos cortes avaliados, Sete Lagoas, MG

Conteúdo celulose de colmo								
Sist*	Corte**							Média
	1	2	3	4	5	6	7	
SSP1	25,1 ±4,7	25,3 ±0,9	21,6 ±0,9	23,7 ±0,5	22,9±0,7	26,0 ±1,1	26,8±1,8	24,5 ±2,5 A
SSP2	25,8 ±1,4	23,7 ±0,4	20,4 ±0,6	23,2 ±1,0	23,5±1,1	24,7 ±1,1	24,6±0,9	23,7 ±1,8 A
SSP3	30,6 ±0,4	27,8 ±0,6	23,9 ±0,7	24,3 ±1,6	24,9±1,0	27,2 ±0,7	27,5 ±0,7	26,6 ±2,4 A
SSP4	29,1 ±1,5	28,5 ±0,9	23,7 ±0,3	23,3 ±2,0	23,1±0,4	26,8 ±1,1	23,7 ±3,4	25,4 ±2,9 A
PS	44,6 ±37,3	26,4 ±1,6	21,0 ±3,55	22,9 ±3,7	22,4±1,6	25,7 ±1,9	28,3 ±0,9	27,3 ±14,5 A
<b>Média</b>	<b>31,0 ±16,6 a</b>	<b>26,3 ±2,0 ab</b>	<b>22,12 ±1,7 b</b>	<b>23,5 ±1,9 b</b>	<b>23,4 ±1,3 b</b>	<b>23,37 ±1,4 b</b>	<b>26,0 ±2,4 ab</b>	<b>25,51 ±7,0</b>

Médias seguidas de letras distintas, minúscula na linha, maiúscula na coluna, diferem pelo Teste Tukey, nível de significância de 5%. \*sistemas silvipastoris: implantado em 2009 com 333 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP-1), em 2009 com 166 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP-2), em 2011 com 333 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP-3) e em 2011 com 166 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP-4) e pastagens à pleno sol (PS); \*\* Cortes: 1° - 19/11/15, 2° - 14/12/15, 3° - 19/01/16, 4° - 23/02/16, 5° - 22/03/16, 6° 18/04/16 e 7° 24/11/16

Os constituintes da parede celular, envolvendo principalmente celulose e hemicelulose são a principal fonte de energia proveniente da digestão de volumosos pelos animais. Em geral, os teores de conteúdo celulose não foram consistentes, apresentando elevados teores nos sistemas com maior idade (SSP1 e SSP2), independentes da densidade arbórea, a partir de março. No sistema integrado mais novo, com 333 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP3), a redução foi evidente no 5° corte. No sistema novo desbastado (SSP4) a redução antecipou para o 3° corte (Tabela 11).

Analisando entre os sistemas, houve similaridade dessas variável nos cortes 3, 5, e 7° (Tabela 11). Assim como verificado no conteúdo de celulose nas folhas entre os sistemas avaliados, houve redução no PS para o 2, 3 e 6° cortes. Na fração colmo, houve pouca variação quanto ao conteúdo de celulose entre os cortes, e a média entre os sistemas não diferiram entre si.

A presença do eucalipto nos sistemas silvipastoris nos cortes avaliados interferiu nos teores de hemicelulose da planta inteira e suas frações (Tabela 12).

**Tabela 12** – Teores médios e desvios padrão da hemicelulose na planta inteira, folhas e colmos na forrageira da *U. brizantha* cv. Piatã nos sistemas silvopastoris (SSP) e pastagem a pleno sol (PS) nos cortes avaliados

Hemicelulose de Planta inteira								
Sist*	Corte**							Média
	1	2	3	4	5	6	7	
SSP1	34,1 ±0,3 abA	33,2 ±0,9 abA	34,6 ±0,3 aC	33,3 ±0,8 baB	33,7 ±0,6 baA	34,2 ±0,8 abB	33 ±0,5 bB	33,7 ±0,8
SSP2	33,6 ±0,5 Ca	34,9 ±0,5abcA	35,8±0,9aABC	34 ±0,6 bcB	34,5 ±0,4 abcA	35,4 ±0,1 abA	34,9 ±1 abcA	34,7 ±0,9
SSP3	32 ±0,5 cB	33,6 ±0,4abA	34,8 ±0,2 aBC	34,1 ±0,7abB	33,8 ±0,3 abA	33 ±0,2 bcC	33,8 ±1,1 abAB	33,6 ±1
SSP4	30,8 ±0,6 dB	33,8 ±0,4 bcA	36,3 ±0,4 aA	34,8 ±0,4 bAB	34,6 ±0,4 bA	33,2 ±0,3 cBC	34,9 ±0,9 bA	34,1 ±1,7
PS	31,8 ±1,2 bB	34,6 ±1,8 aA	36,2 ±0,9 aAB	36 ±1,1 aA	34,3 ±0,6 aA	34,2 ±0,8 abAB	33,7 ±0,6 abAB	34,4 ±1,7
<b>Média</b>	<b>32,5 ±1,4</b>	<b>34 ±1,1</b>	<b>35,5 ±0,9</b>	<b>34,4 ±1,1</b>	<b>34,2 ±0,6</b>	<b>34 ±1</b>	<b>34,1 ±1,</b>	<b>34,1 ±1,3</b>
Hemicelulose na folha								
Sist*	Corte**							Média
	1	2	3	4	5	6	7	
SSP1	34,2 ±0,3 aA	33,1 ±0,5 abA	33,5 ±0,7 abB	32,5 ±0,3 bA	34,2 ±0,6 aA	32,6 ±0,8 bA	33,5 ±0,4 abA	33,3 ±0,8
SSP2	33,7 ±0,6 aA	34,1 ±1,0 aA	34,8 ±0,4 aAB	33,8 ±0,5 aA	32,6 ±4,5 aA	34,3 ±0,4 aA	35,6 ±2,3 aA	34,1 ±2,2
SSP3	32,6 ±0,2 aA	32,7 ±0,3 aA	34,0 ±0,1 aB	33,3 ±1,1 aA	34,3 ±0,5 aA	31,0 ±4,5 aA	32,7 ±0,8 aA	32,9 ±1,8
SSP4	32,6 ±0,9 aA	32,9 ±0,8 aA	35,6 ±0,1 aA	34,8 ±0,5 aA	34,5 ±0,5 aA	33,7 ±0,4 aA	32,3 ±0,9 aA	33,8 ±1,9
PS	30,1 ±1,9 bB	34,4 ±1,4 aA	35,7 ±1,1 aA	34,8 ±2,0 aA	35,6 ±0,5 aA	32,6 ±1,6 abA	33,3 ±5,6 abA	33,8 ±2,3
<b>Média</b>	<b>32,6 ±1,7</b>	<b>33,4 ±1,0</b>	<b>34,7 ±0,6</b>	<b>33,8 ±1,3</b>	<b>34,2 ±2,1</b>	<b>32,8 ±2,2</b>	<b>33,5 ±2,7</b>	<b>33,6 ±1,2</b>
Hemicelulose no colmo								
Sist*	Corte**							Média
	1	2	3	4	5	6	7	
SSP1	31,6 ±2,0 bAB	31,9 ±0,6 abB	31,7 ±0,5 Bb	32,8 ±0,8 abB	32,9 ±0,8abB	34,0 ±0,2 aB	32,4 ±0,6 abA	32,5 ±1,2
SSP2	30,4 ±0,3 cBC	33,2 ±0,9 bAB	32,9 ±0,4 bAB	33,1 ±0,5 bB	34,2±0,6abAB	35,0 ±0,8 aA	33,8 ±0,4 abA	33,2 ±1,5
SSP3	31,5 ±0,7 cAB	32,7 ±0,2 bcB	31,9 ±0,2 bcB	33,9 ±0,5 aAB	33,0±0,3abAB	32,4 ±0,5 bcC	32,8 ±0,9 abA	32,6 ±0,9
SSP4	32,6 ±0,5 aA	33,2 ±0,4 aAB	32,0 ±0,5 aB	33,7 ±0,6 aAB	34,4 ±0,2aA	32,7 ±0,5 Abc	32,8 ±2,7 aA	33,0 ±1,2
PS	29,2 ±0,2 cC	34,3 ±1,1aA	34,3 ±1,1 Aa	34,9 ±1,2 aA	33,5±1,0 abAB	33,6 ±0,7abAB	32,2 ±0,6 bA	33,1 ±2,2
<b>Média</b>	<b>31,0 ±1,5</b>	<b>33,0 ±1,0</b>	<b>32,6 ±0,7</b>	<b>33,7 ±1,0</b>	<b>33,6 ±0,8</b>	<b>33,5 ±1,1</b>	<b>32,8 ±1,3</b>	<b>32,9 ±0,6</b>

Médias seguidas de letras distintas, minúscula na linha, maiúscula na coluna, diferem pelo Teste Tukey, nível de significância de 5%. \*sistemas silvopastoris: implantado em 2009 com 333 arv. ha<sup>-1</sup> (SSP-1), em 2009 com 166 arv. ha<sup>-1</sup> (SSP-2), em 2011 com 333 arv. ha<sup>-1</sup> (SSP-3) e em 2011 com 166 arv. ha<sup>-1</sup> (SSP-4) e pastagens à pleno sol (PS); \*\* Cortes: 1° - 19/11/15, 2° - 14/12/15, 3° - 19/01/16, 4° - 23/02/16, 5° - 22/03/16, 6° 18/04/16 e 7° 24/11/16

De modo geral, o teor de hemicelulose dos sistemas integrados implantados em 2011 foram parecidos ao PS (P<0,05). Para a hemicelulose nas folhas verifica-se certa uniformidade desses teores embora ocasionalmente apresentasse no PS redução no início das estações chuvosas (Tabela 12). Para a fração colmo percebe-se uma variação de hemicelulose nas plantas com aumento gradual ao longo do ciclo, e estes teores foram superiores em condição em PS (Tabela 12).

Para a digestibilidade *in vitro* da MS da forrageira piatã (DIVMS), verificou-se interação significativa para sistema e corte da planta inteira e da fração colmo (p<0,05), entretanto, não houve efeito significativo para fração folha (Tabela 13).

Em relação aos cortes, verificou-se uma redução na DIVMSpi com o avanço da estação de crescimento, provavelmente em função do aumento da proporção de colmos na massa de forragem nos cortes intermediários e finais da estação de crescimento. Tal fato corrobora com trabalho de Reis et al., (2005) os quais verificaram que à medida que a idade fisiológica da planta avança aumentam as porcentagens de celulose, hemicelulose e lignina,

reduzindo a proporção dos nutrientes potencialmente digestíveis (carboidratos solúveis, proteínas, minerais e vitaminas), acarretando a redução na digestibilidade.

**Tabela 13** – Teores médios e desvios padrão da digestibilidade *in vitro* da matéria seca da planta inteira, folha e colmo da *U. brizantha* cv. Piatã nos sistemas silvipastoris (SSP) e pastagem a pleno sol (PS) nos cortes avaliados, Sete Lagoas, MG

Digestibilidade <i>in vitro</i> da MS da planta inteira (%)								
Sist*	Corte**							Média
	1	2	3	4	5	6	7	
SSP1	59,0 ±1,3bcA	62,3±1,7abAB	60,2 ±0,7 bcA	58,8 ±2,5 bcA	59,4 ±2,8 bcA	55,4 ±1,9 cA	65,5 ±1,5 aAB	60,1 ±3,4
SSP2	64,0 ±1,4 aA	57,0 ±1,5 bcB	58,1 ±4,5 abcA	58,0 ±1,2 bcA	57,1 ±2,5bcA	52,3 ±2,9 cAB	60,2 ±2,7 abB	58,1 ±4,1
SSP3	64,0 ±0,7abA	66,6 ±2,5 aA	63,0 ±1,7abA	58,6 ±2,5 bcA	55,7 ±2,2cdA	51,3 ±1,9 dAB	62,5 ±4,6abAB	60,3 ±5,5
SSP4	66,7 ±1,4 aA	67,7 ±1,6 aA	63,7 ±1,5 abA	55,9 ±2,6 cA	54,2 ±2,6 cAB	52,8 ±1,1 cAB	62,0 ±1,2 bAB	60,4 ±6,0
PS	58,5 ±8,4 abA	64,9 ±4,4 aA	63,3 ±3,8 Aa	57,4 ±0,7 abcA	49,9 ±2,4 bcB	48,8 ±2,3 cB	66,0 ±1,0 aA	58,4 ±7,5
<b>Média</b>	<b>62,5 ±4,7</b>	<b>63,7 ±4,5</b>	<b>61,7 ±3,4</b>	<b>57,7 ±2,1</b>	<b>55,3 ±4,0</b>	<b>52,1 ±2,9</b>	<b>63,2 ±3,2</b>	<b>59,5 ±5,5</b>

Digestibilidade <i>in vitro</i> da MS na folha (%)								
Sist*	Corte**							Média
	1	2	3	4	5	6	7	
SSP1	62,0 ±1,7	66,4 ±0,7	64,8 ±1,6	65,8±2,4	71,2 ±1,3	64,1±0,7	68,9±1,9	66.2 ±3.2 A
SSP2	65,9 ±0,8	64,9 ±1,2	63,5 ±2,5	63,9 ±2,2	66,7±9,4	63,6 ±1,2	64,4 ±2,8	64.7 ±3.7 A
SSP3	66,4 ±1,5	71,3 ±0,5	67,9 ±0,7	69,1 ±1,6	70,0±1,3	59,9 ±8,0	70,4 ±1,1	67.9 ±4.6 A
SSP4	66,9 ±1,7	70,7 ±0,3	66,3 ±1,6	69,4 ±0,3	69,7±1,2	65,4 ±2,0	59,2 ±14,2	66.8 ±6.1 A
PS	67,6 ±2,1	68,8 ±2,0	67,9 ±1,79	67,5 ±3,0	60,6±15,5	65,6 ±1,7	60,1 ±14,7	65.45±3.2 A
<b>Média</b>	<b>65,8 ±2,5 a</b>	<b>68,4 ±2,7 a</b>	<b>66,1 ±1,9 a</b>	<b>67,1 ±2,8 a</b>	<b>67,6 ±8,2 a</b>	<b>63,7 ±4 a</b>	<b>64,6 ±9,5 a</b>	<b>66.2 ±6.1</b>

Digestibilidade <i>in vitro</i> da MS no colmo (%)								
Sist*	Corte**							Média
	1	2	3	4	5	6	7	
SSP1	51,0 ±7,1 abcA	55,5±2,0abBC	46,8 ±1,9 cA	53,5±1,4abcA	48,7 ±0,2 bcA	52,1±2,3 abcA	58,4 ±3,8 aA	52.3 ±4.8
SSP2	51,5 ±2,2 abA	52,7±1,2abC	46,3 ±1,3 cA	52,2±1,4 abA	50,5 ±2,7 cA	50,7±2,7 abA	55,4 ±2,7 aA	51.3 ±3.2
SSP3	60,7 ±1,4 aA	59,8 ±1,2 aAB	51,8 ±1,6 bA	53,8±3,5 bA	50,8 ±1,2 bA	51,5 ±1,4 bA	59,3 ±1,3 Aa	55.4 ±4.4
SSP4	61,6 ±2,4 abA	62,3 ±0,6 aA	51,9 ±1,2 cA	52,0 ±3,3 cA	48,9 ±1,2 cA	51,8 ±1,6 cA	53,7 ±8,2 bcA	54.6 ±5.8
PS	50,7 ±10,2 cA	60,5±4,1abA	50,5 ±5,4 cA	54,3±6,3 bcA	46,9 ±4,2 cA	52,3±4,2 cA	62,2 ±2,5 aA	56.4 ±8.4
<b>Média</b>	<b>55,1 ±7,2</b>	<b>58,1 ±4,1</b>	<b>49,46 ±3,2</b>	<b>53,2 ±3,4</b>	<b>49,2 ±2,6</b>	<b>51,7 ±2,4</b>	<b>57,8 ±5,0</b>	<b>53,51 ± 4,4</b>

Médias seguidas de letras distintas, minúscula na linha, maiúscula na coluna, diferem pelo Teste Tukey, nível de significância de 5%. \*sistemas silvipastoris: implantado em 2009 com 333 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP-1), em 2009 com 166 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP-2), em 2011 com 333 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP-3) e em 2011 com 166 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP-4) e pastagens à pleno sol (PS); \*\* Cortes: 1° - 19/11/15, 2° - 14/12/15, 3° - 19/01/16, 4° - 23/02/16, 5° - 22/03/16, 6° 18/04/16 e 7° 24/11/16

Não foram verificados efeitos de sistemas com diferentes densidades de árvores entre os sistemas de mesma idade nos cortes, entretanto, quando comparados os sistemas com mesma densidade arbórea (SSP1 x SSP3 e SSP2 x SSP4), no corte 2 a DIVMSpi apresentou-se superior no sistema com menor densidade arbórea e mais jovem (SSP4) (Tabela 13). Neste sentido, ressalta-se a baixa correlação entre RFA e DIVMSpi observada ( $r = -0,515^*$ ).

O efeito dos tratamentos (sol pleno e sombra) sobre a DIVMS foi significativo para maior digestibilidade em gramíneas que receberam o sombreamento natural no trabalho de Carvalho et al. (2002). Estes autores verificaram que o valor nutritivo das gramíneas é favorecido pelo sombreamento natural do componente arbóreo, mesmo quando há redução no crescimento. Embora, a tolerância ao sombreamento difere entre gramíneas (*U. brizantha* cv. Marandu, *Panicum maximum* cvs. Aruana, *Makueni*, *Mombaça* e *Tanzânia* e *Cynodon*

*dactylon* cv. Tifton 68) sombreadas por árvores de *Anaderanthera macrocarpa*, esses autores observaram aumento nas concentrações de N, quando comparadas com o crescimento delas em pleno sol.

A produção acumulada de forragem da planta inteira digestível, estimada com base na produção de forragem acumulada no período experimental e a DIVMS média desta massa de forragem, verificou-se reduções na forragem digestível nos SSPs variando entre 40,4 e 58,9% em relação ao PS, com menores perdas relativas nos SSPs mais jovens em comparação aos mais antigos, bem como, nos sistemas com menores densidades arbóreas.

As produções de forragem de planta inteira digestível foram de 16.663,3 (100%), 6.840,5 (41,1%), 7.490,8 (44,9%), 8.137,5 (48,8%) e 9.936,4 (59,6%) kg.ha<sup>-1</sup> para os sistemas PS, SSP1, SSP2, SSP3 e SSP4, respectivamente. Estes resultados indicam que a quantidade de forragem digestível produzida nos sistemas foi mais influenciada pela produção de forragem acumulada em cada sistema do que pela DIVMS desta forragem.

Da mesma forma que produção de forragem digestível da planta inteira, a produção de forragem de folhas digestível nos SSPs apresentou-se inferiores ao sistema PS, com menores reduções nos sistemas mais jovens e, entre estes, nos sistemas com menores densidades arbóreas. As produções de forragem de folhas digestível durante o período experimental foram de 10.525,14 (100%), 4.320,9 (41,0%), 4.896,6 (46,5%), 4.987,5 (47,4%) e 5.956,2 (56,6%) kg.ha<sup>-1</sup> para os sistemas PS, SSP1, SSP2, SSP3 e SSP4, respectivamente.

Não foram observadas variações significativas entre os sistemas de produção bem como as épocas de corte para DIVMS da fração foliar apresentando a digestibilidade média de 66,2%, indicando que dentro de cada sistema estudado há similaridade dessa variável no decorrer do ciclo de pastejo (Tabela 13).

Carvalho et al. (2002) encontraram valores de DIVMS mais elevados na forrageira sombreada (59,01) em relação àquela sem influência de árvores (52,73). Entretanto, Lopes et al. (2017) avaliaram o valor nutritivo da *Brachiaria decumbens* Stapf. cv. Basilisk em sistema silvipastoril (*Acacia mangium* e *Eucalyptus grandis*) durante a estação chuvosa e perceberam que os teores de DIVMS não variaram com nenhum fator estudado (60,9%).

Para a fração colmo, nos sistemas avaliados percebe-se que a DIVMS foi maior no início do ciclo de pastejo, decresceu a partir do 3º corte e elevou-se no 7º corte (Tabela 13). Para a DIVMS do colmo, quanto aos cortes amostrados nos sistemas pesquisados, houve uma similaridade, contudo no 2º corte verificou-se que os sistemas mais novos independentemente da densidade arbórea (SSP3 e 4) e a pastagem em PS foram elevadas.

## Conclusão

Nos SSPs com *U. brizantha* cv Piatã e eucalipto avaliados ocorreram reduções significativas na RFA incidente e, conseqüentemente, reduções significativas na produção de biomassa de planta inteiras e de folhas. Entretanto, não influenciaram as proporções dos componentes morfoanatômicos (lâminas foliares, colmos e material morto) na forragem quando comparadas à pastagem a pleno sol.

O sombreamento causado pelos renques de eucalipto nos SSPs impactou positivamente a qualidade da forragem, especialmente os teores de PB e a DIVMS em relação à forragem produzida a pleno sol.

O desbaste de 50% das árvores nos SSPs não apresentou efeito significativo sobre a RFA incidente nem sobre a produção de forragem durante o período experimental avaliado.

O avanço de 5 para 7 anos no tempo de implantação dos SSPs não afetou a RFA incidente no sub-bosque, entretanto, causou reduções na produção e na qualidade da forragem produzida.

### Referências

ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F.; COSTA, S. D. A. Abordagem sistêmica do solo em sistemas integrados de produção agrícola e pecuária no subtropical brasileiro. *Tópicos em Ciência do Solo*, v. 8, p. 325-380, 2013.

BELESK, Y, D.P.; BURNER, D.M.; RUCKLE, J.M. Tiller production in cocksfoot (*Dactylis glomerata*) and tall fescue (*Festuca arundinacea*) growing along a light gradient. *Grass and forage Science*, v.66, n.3, p.370-380, 2011. Disponível em: <https://www.ars.usda.gov/research/publications/publication/?seqNo115=255059>. Acesso em 11 de outubro 2018.

BOSI, C.; PEZZOPANE, J. R. M.; SENTELHAS, P. C.; SANTOS, P. M.; NICODEMO, M. L. F. Produtividade e características biométricas do capim-braquiária em sistema silvipastoril. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.49, n.6, p.449-456, jun. 2014 DOI: 10.1590/S0100-204X2014000600006

CAMPOS, F.B. de; LANNA, D.P.D.; BOSE, M.L.V.; BOIN, C.; SARMENTO, P. Degradabilidade do capim-elefante em diferentes estágios de maturidade avaliada pelo método in vitro/gás. *Scientia Agricola*, v.59, p.217-225, 2002.

CAMPOS, F. P.; SAMPAIO, A. A. M.; VIEIRA, P. F.; BOSE, M. L. V. Digestibilidade in vitro/gás de volumosos exclusivos ou combinados avaliados pelo resíduo remanescente da digestão da matéria seca e produção de gás. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa-MG, v. 30, n. 5, p. 1579-1589, 2001. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbz/v30n5/6699.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2017.

CARVALHO, M.M.; FREITAS, V.P.; XAVIER, D.F. Início de florescimento, produção e valor nutritivo de gramíneas forrageiras tropicais sob condição de sombreamento natural. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.37, n.5, p. 717-722, 2002.

CASTRO, C. R. T. DE ; GARCIA, R.; CARVALHO M. M.; COUTO, L. .Produção Forrageira de Gramíneas Cultivadas sob Luminosidade Reduzida. *Rev. bras. zootec.*, v.28, n.5, p.919-927, 1999

COSTA, S.B.M.; MELLO, A.C.L.; DUBEUX, JR. J.C.B.; SANTOS, M.V.F.; LIRA, M.A.; OLIVEIRA, J.T.C.; APOLINÁRIO, V.X.O. Livestock performance in warm-climate silvopastures using tree legumes. *Agronomy Journal*, v. 108, p. 2026–2035, 2016. DOI:10.2134/agronj2016.03.0180

COSTA, T. C. C.; SILVA, A. F., TEMPONI, L. M.; VIANA, J. H. M. Probabilistic Classification of Tree and Shrub Vegetation on Phytogeographic System. *Journal of Environmental Science and Engineering*. v. 4, p. 315-330. 2015. doi:10.17265/2162-5263/2015.06.003

CUBBAGE, F.; BALMELLI, G.; BUSSONI, A.; NOELLEMAYER, E.; PACHAS, A.N.; FASSOLA, H.; COLCOMBET, L.; ROSSNER, B.; FREY, G.; DUBE, F.; SILVA, M.L.; STEVENSON, H.; HAMILTON, J.; HUBBARD, W. Comparing silvopastoral systems and prospects in eight regions of the world. *Agroforestry Systems*, v. 86, 303–314, 2012. DOI:10.1007/s10457-012-9482-z

CRESTANI, S. Respostas morfogênicas e dinâmica da população de perfilhos e touceiras em *Brachiaria Brizantha* cv. Piatã submetida a regimes de sombra em áreas de integração-lavoura-pecuária e Floresta. Tese (Doutorado em Ciências). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” Piracicaba. 2015. 101 f.

DIAS-FILHO M.B. *Diagnóstico das pastagens no Brasil*. Documentos, 402, Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 36p., 2014.

DIM, V. P; ALEXANDRINO, E.; SANTOS, A. C DOS; MENDES, R. da S.; SILVA, D. P. da. Características agronômicas, estruturais e bromatológicas do capim Piatã em lotação intermitente com período de descanso variável em função da altura do pasto. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, v. 16, n. 1, 2015.

GALDINO S., SANO E.E., ANDRADE R.G., GREGO C.R., NOGUEIRA S.F. and BRAGANTINI C. Large-scale modeling of soil erosion with rusle for conservationist planning of degraded cultivated Brazilian pastures. *Land Degradation & Development*, v.27, p.773–784, 2016. DOI: 10.1002/ldr.2414

GUENNI O., SEITER S.; FIGUEROA R. Growth responses of three *Brachiaria* species to light intensity and nitrogen supply. *Tropical Grasslands*, v.42, p. 75–87. 2008.

GUERRA C.R.S.B., MORAES M.L.T., RECCO C.R.S.B., SILVA C.L.S.P. and GIMENES F.M.A. Forage yield and nutritive value of naturally growing *Brachiaria decumbens* as undergrowth to an aroeira tree stand in a silvopasture system. *African Journal of Agricultural Research*, v.11, p.3922–3928, 2016. DOI: 10.5897/AJAR2016.11529

IBGE. Sistema IBGE de recuperação automática, *SIDRA*. 2016. Disponível em <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pecua>> Acesso em: 16 out. 2016.

IWATA, B. F.; LEITE, L. F. C.; ARAÚJO, A. S. F.; NUNES, L. A. P. L.; GEHRING, C.; CAMPOS, L. P. Sistemas agroflorestais e seus efeitos sobre os atributos químicos em Argissolo Vermelho-Amarelo do Cerrado piauiense. *Revista brasileira engenharia agrícola e ambiental*, v.16, 2012.

LINDGREN P.M.F. and SULLIVAN T. P. Response of forage yield and quality to thinning and fertilization of young forests: implications for silvopasture management. *Canadian Journal of Forest Research*, v.44, p.281–289. 2014. DOI: 10.1139/cjfr-2013-0248

LOPES, C.M.; PACIULLO, D.S.C.; ARAÚJO, S.A.C.; GOMIDE, C.A.M.; MORENZ, M.J.F.; VILLELA, S.D.J. Massa de forragem, composição morfológica e valor nutritivo de capim-braquiária submetido a níveis de sombreamento e fertilização. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, v.69, n.1, p.225-233, 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4162-9201>

MARTUSCELLO, J. A.; JANK, L.; NETO, M. M. G.; LAURA, V. A.; CUNHA, D. N. F. V. Produção de gramíneas do gênero *Brachiaria* sob níveis de sombreamento. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, MG, v. 38, n. 7, p. 1183-1190, 2009

MENDONÇA, R.; LANA, A. M. Q.; LANA R. M. Q.; LEMOS FILHO, J. P. DE; TOTH, G.; CARMO, T. D. do. Meteorological, light and grass characteristics under trees in a Silvopasture in the Brazilian cerrado. *Australian Journal of Crop Science*, v. 11, n.2, p.177-183, February 2017. DOI 10.21475/ajcs.17.11.02.p224

MERTENS, D. R. Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, v.80, p.1463, 1997.

MOREIRA, E. D. S.; GONTIJO NETO, M. M.; LANA, Â. M. Q.; BORGHI, E.; SANTOS, C. A. dos; ALVARENGA, R. C.; VIANA, M. C. M. Eficiência produtiva e atributos agronômicos de milho em sistema integração lavoura-pecuária-floresta. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 53, n.4, abril 2018. DOI: 10.1590/S0100-204X201800040000x

OLIVEIRA, T.K.; MACEDO, R.L.G.; SANTOS, I.P.A. et al. Produtividade de *Brachiaria brizantha* (Hochst, ex A. Rich.) Stapf cv. Marandu sob diferentes arranjos estruturais de sistema agrossilvipastoril com eucalipto. *Ciência Agrotecnologia*, Lavras, v. 31, n.3, p. 748-757, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/cagro/v31n3/a22v31n3.pdf>. Acesso em 13 de outubro de 2017

PACIULLO D.S.C.; CAMPOS N.R.; GOMIDE C.A.M.; 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*, p. 917–923, 2008.



PACIULLO D.S.C.; CARVALHO C.A.B.; AROEIRA L.J.M.; MORENZ M.J.F.; LOPES F.C.F.; ROSSIELLO R.O.P. Morfofisiologia e valor nutritivo do capim braquiária sob sombreamento natural e a sol pleno. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, p. 573–579, 2007. DOI: 10.1590/S0100-204X2007000400016

PACIULLO D.S.C.; GOMIDE C.A.M.; CASTRO C.R.T.; FERNANDES P.B.; MÜLLER M.D.; PIRES M.F.A.; FERNANDES E.N.; XAVIER D.F. Características produtivas e nutricionais do pasto em sistema agrossilvipastoril, conforme a distância das árvores. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, p.1176–1183, 2011. DOI: 10.1590/S0100-204X2011001000009

PALHANO, A.L.; CARVALHO, P.C.F.; DITTRICH, J.R.; MORAES, A.; DA SILVA, S.C.; MONTEIRO, A.L.G. Características do processo de ingestão de forragem por novilhas holandesas em pastagens de capim-mombaça. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.36, n.4, p.1014-1021, 2007.

PEREIRA, A. C. M.; ALMEIDA, J. C. C. de; MOREIRA, T. G. B.; ZANELLA, P. G.; CARVALHO, C. A. B. de; MORAIS, L. F. de; SOARES, F. A.; M. A. LIMA. Avaliação do componente arbóreo e forrageiro de sistemas silvipastoris na mesorregião dos "campos das vertentes" de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS)*, v.5, n.1., p.66-77, Julho, 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/308038003> Acesso em 09 de janeiro de 2018.

PERI, P.L., LUCAS, R.J.; MOOT, D.J. Dry matter production, morphology and nutritive value of *Dactylis glomerata* growing under different light regimes. *Agroforest Syst*, v.70 p. 63, 2007. DOI:10.1007/s10457-007-9029-x

PEZARICO C.R., VITORINO A.C.T., MERCANTE F.M. and DANIEL O. Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais. *Revista Ciências Agrárias*, v. 56, n.1, p. 40–47, 2013. DOI: 10.4322/rca.2013.004

RODRIGUES, C. O. D.; ARAÚJO, S. A. do C.; VIANA, M. C. M.; ROCHA, N. S.; BRAZ, T. G. DOS S.; VILLELA, S. D. J. Light relations and performance of signal grass in silvopastoral system. *Acta Scientiarum. Animal Sciences Maringá*, v. 36, n. 2, p. 129-136, Apr.-June, 2014. Doi: 10.4025/actascianimsci.v36i2.22398

SANTANA, E. A. R. de. Composição morfológica e valor alimentício de capim-marandu e comportamento de bovinos Nelore em sistemas integrados de produção. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Botucatu 2017. 98 f.

SANTOS, D. de C. Características do capim-piatã e desempenho de bovinos em sistemas silvipastoris no Cerrado brasileiro, Tese (Doutorado), Universidade Federal de Goiás, Escola de Veterinária e Zootecnia (EVZ), Programa de Pós-graduação em Ciência Animal, Goiânia, 2016, 82 f.

SANTOS C.G. Avaliação de gramíneas forrageiras tropicais em diferentes níveis de sombreamento. *Revista Científica de Produção Animal*, v.16, p. 68–78, 2014. DOI: 10.15528/2176-4158/rcpa.v16n1p68-78

SANTOS, H. G. dos.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. Á. de.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. de. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3 ed. rev. ampl. Brasília, DF: *Embrapa*, 2013. 353 p.

SILVA D.J.; QUEIROZ A.C. *Análise de Alimentos (métodos químicos e biológicos)* 3rd ed. Viçosa: UFV. 2002.

SOARES, A. B.; SARTOR, L. R.; PAULO, F. A.; VARELLA, A. C.; MEZZALIRA, J. C. Influência da luminosidade no comportamento de onze espécies forrageiras perene de verão. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, MG, v. 38, n. 3, p. 443-451, 2009.

SOUSA, L.F.; MAURÍCIO, R.M.; GONÇALVES, L.C.; SALIBA, E.O.S. MOREIRA, G.R. Produtividade e valor nutritivo da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em um sistema silvipastoril. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v.59, n.4, p.1029-1037, 2007. <https://dx.doi.org/10.1590/S0102-09352007000400032>

SOUSA, L.F.; MAURÍCIO, R.M.; MOREIRA, G.R.M.; GONÇALVES, L.C.G.; BORGES, I.; PEREIRA, L.G.R. Nutritional evaluation of “Braquiarão” grass in association with “Aroeira” trees in a silvopastoral system. *Agroforestry Systems*, v.79, n.2, p.189-199, 2010. DOI: 10.1007/s10457-010-9297-8

TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia Vegetal*. 5. Ed. Artmed, Porto alegre, RG, 2013.

VAN SOEST, P.J. *Nutritional ecology of the ruminant*. 2.ed. Ithaca, NY-US: Cornell University Press, 1994. 476p.

VARGA, G.A.; DANN, H.M.; ISHLER, V.A. The use of fiber concentrations for ration formulation. *Journal of Dairy Science*, v.81, n.11, p.3063-3074, 1998.

WILSON J.R. Shade-stimulated growth and nitrogen uptake by pasture grasses in a subtropical environment. *Australian Journal of Agricultural Research*, v.47, p.1075–1093, 1996. DOI: 10.1071/AR9961075

## CAPÍTULO 3

### ESTOQUE DE CARBONO NO SOLO SOB SISTEMA SILVIPASTORIL, PASTAGEM EM MONOCULTIVO E VEGETAÇÃO DE FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL

**Resumo** – A sustentabilidade de sistemas de cultivo de pastagens é pretendida, principalmente, por meio de um manejo que possa promover a qualidade do solo. Assim, objetivou-se avaliar o estoque de carbono do solo em um Latossolo Vermelho distrófico típico sob diferentes sistemas de uso. O delineamento experimental adotado foi inteiramente ao acaso, em arranjo fatorial 7x4x6, com três repetições. Os tratamentos consistiram de sete sistemas de cultivo: sistemas SSP com eucalipto no arranjo 2 x 15 m com forrageira *Urochloa brizantha* cultivar Piatã: SSP implantado em 2009 com 333 árvores ha<sup>-1</sup> (SSP1); em 2009 com 166 árvores ha<sup>-1</sup> (SSP2); em 2011 com 333 árvores ha<sup>-1</sup> (SSP3); em 2011 com 166 árvores ha<sup>-1</sup> (SSP4); pastagem de capim-piatã em monocultivo implantada em 2009 (PS) e na área de vegetação nativa (VN). Os pontos de coletas de solo foram as distâncias de 0,5; 1,25; 3 e 7 m a partir do componente arbóreo e destas realizou-se a amostra composta. Foram coletadas em seis profundidades avaliadas: 0-5; 5-10; 10-20; 20-40; 40-60 e 60-100 m. Nos sistemas com inserção do eucalipto, o sombreamento e competição pelos nutrientes e água reduziram a mineralização da matéria orgânica o que influenciou no carbono complexados. O estoque de carbono foi significativo entre os sistemas e as profundidades do solo. A conversão da vegetação nativa em pastagem a pleno sol e sistemas silvipastoris com maior tempo de implantação, promovem aumento nos estoques de C no solo e apresentaram como potenciais sistemas para fixação de C no solo.

**Palavras-chaves:** capim Piatã, eucalipto, sistema integração, carbono do solo

### Introdução

A dinâmica dos fluxos de gases de efeito estufa é alterada pela mudança de uso da terra e pelos sistemas de manejos do solo. O setor agrícola é um grande responsável por parte das emissões de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O da biosfera para atmosfera. A conversão de Cerrado nativo para sistemas de cultivo tem aumentado à emissão destes gases, porém a redução das emissões com incremento no estoque de carbono no solo (ECS) por adoção de sistemas silvipastoris tem sido estudado mais recentemente por alguns autores (Muller et al 2009; Loss et al 2011; Leite et al., 2013; Schmidt et al., 2017).

O componente arbóreo favorece as pastagens por promover modificações que podem interferir na quantidade e qualidade da forragem (Schmidt et al., 2017), e na disponibilidade de nutrientes em profundidade no solo. Além de contribuir na estabilização física da massa do solo pela adição de matéria orgânica (MOS); promover a ciclagem de nutrientes e melhoria do solo (Freitas et al., 2013). Permite ainda, a reserva temporária de nutrientes, evitando sua perda por erosão ou mesmo a lixiviação; a redistribuição de carbono (C) e nutrientes em

profundidade, beneficiando a atividade microbiana e a fauna do solo e aumento do armazenamento de C (Gatto et al., 2010).

Segundo Paciullo et al., (2008) e Radomski; Ribaski et al., (2012) as árvores afetam ainda a produtividade e valor nutritivo das forragens, e a intensidade destes efeitos varia em função do arranjo e da espécie arbórea utilizada, do grau de sombreamento e da tolerância da espécie à sombra. Além do que, a introdução de árvores nos sistemas eleva o potencial de sequestro de carbono, o que contribui com maior disponibilidade de nutrientes para as culturas e forrageiras em consórcio, com reflexo na produtividade e conservação do solo (Cordeiro et al. 2015).

Vários autores, como Salton et al., (2011), Tonucci et al., (2011), Silva et al., (2012), Leite et al., (2013), Oliveira et al., (2015), e Zornoza et al. (2015) utilizam os teores e os ECS como indicadores de qualidade do solo, a fim de identificar as alterações causadas pela cobertura vegetal na conversão da vegetação nativa.

Miranda et al. (2007) estudando duas áreas de 0,8 ha cada, em município de Martí, Cuba mensuraram a fixação de C no solo que foi bem superior sob sistema silvipastoril (SSP), em relação ao C sequestrado no sistema de pasto natural. Estes autores, avaliaram o ECS, no SSP analisando o C nas árvores, no pasto e no solo, sendo a quantidade de C sequestrada em cada compartimento 64, 38 e 24 t ha<sup>-1</sup> respectivamente. O ECS total no SSP foi de 126 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, ao passo que no sistema de pasto natural esse montante alcançou somente 32 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Assim, referem que SSP é uma alternativa adequada para o desenvolvimento sustentável no setor de produção pecuária.

Alterações nos teores e ECS do solo foram verificados por D' Andréa et al., (2004) em diferentes sistemas de manejo do solo implantados em um Latossolo Vermelho distrófico típico no Cerrado goiano, mencionam a pastagem *Brachiaria* sp. um sistema promissor em aumentar os ECS por apresentar, em profundidade, um aumento em relação ao cerrado nativo.

Escassos são os conhecimentos sobre a variabilidade espacial e temporal de ECS nos sistemas silvipastoris, e maioria estão restritos às parcelas experimentais, restringindo a utilização do dado apenas localmente (Oliveira et al., 2015).

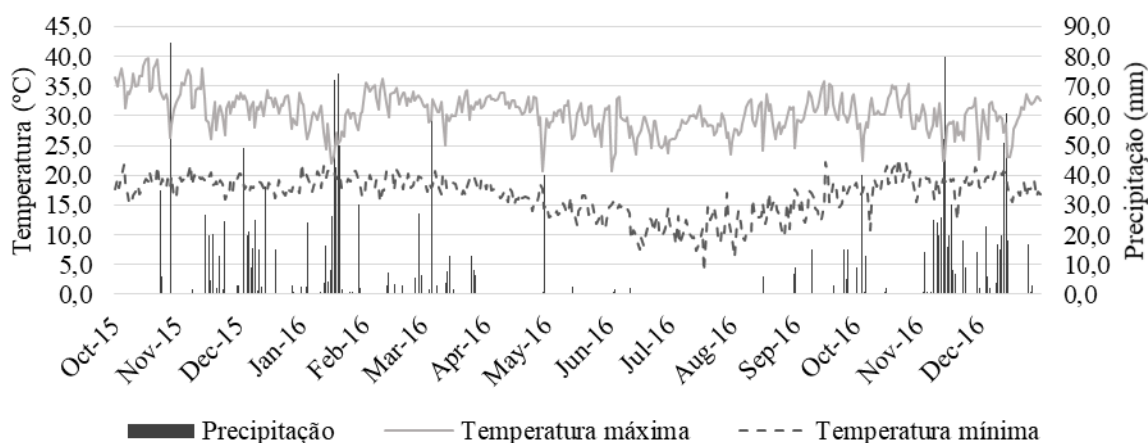
Toledo et al. (2013) fizeram comparações de diferentes métodos de cálculo de estoque COS para solo vermelho de Misiones, e recomendaram o método preconizado por Solomon et al. (2002) que se propuseram a realizar correções de massa para solo a fim de evitar superestimções em cálculos dos estoques de C. Arzuaga et al. (2016) avaliaram o efeito da arborização com coníferas (*Pinus* sp.) no estoque de C e também adotaram este referido método.

Objetivou-se com este trabalho avaliar o estoque de carbono no solo submetido aos sistemas silvipastoris com *Urochloa brizantha* cultivar Piatã e eucalipto, em diferentes densidades e idades das arbóreas, e a pastagem a pleno sol comparado com a área de vegetação nativa.

## Material e Métodos

### Caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido na área experimental da Embrapa Milho e Sorgo na cidade de Sete Lagoas - MG, com coordenadas: latitude de 19° 29'11" S e longitude de 44° 10' 77" W e altitude de 708 m. O clima da região é do tipo Aw (Tropical chuvoso), de acordo com a classificação de Köppen, com estação seca bem definida no inverno de maio a setembro e chuvas concentradas no verão de outubro a abril. Os dados meteorológicos durante o período experimental estão apresentados na Figura 1, a precipitação total foi de 1.791,7 mm.



**Figura 1.** Valores médios mensais de temperatura máxima T máx (°C) e mínima T mín (°C) e precipitação pluviométrica (mm), durante o período experimental nos anos 2015, e 2016, em Sete Lagoas, MG. Fonte: CNPMS/Embrapa; INMET

A média anual da precipitação pluviométrica entre os anos 1930 e 2010 é 1362,9 mm ano<sup>-1</sup> e temperatura média é 20,9 °C e mais de 50% das chuvas da região concentram-se no verão (Ferreira et al., 2011).

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico (LVd), textura argilosa de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos et al., 2013). A região apresenta solos bem drenados e topografia variando de plana a suavemente ondulada. A vegetação original é de Floresta Estacional Semidecidual de transição para Cerrado como classificado por Costa et al. (2015).

### Histórico da área experimental

A área total com 3,5 ha foi convertida de uma área de cerrado *sensu strictu* nativo em 1970 sendo cultivada com plantio de milho/sorgo para silagem até 2002. Após esse período até 2009 a área ficou em pousio.

Em 2009, em parte dessa área, 0,9 ha, foi implantado o sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF). Foi realizado o plantio em nível de seis renques de eucaliptos (*Eucalyptus urophylla* cultivar GG100) em sistema semi-mecanizado, com 100 m de comprimento no espaçamento 15 x 2 m entre plantas, com total de 333,3 árvores ha<sup>-1</sup>. Em outra área contígua também com 0,9 ha, em outubro de 2011, foi implantado o ILPF, adotando o mesmo alinhamento, densidade e espaçamento dos renques anteriores. Em 2009 e em 2011, a adubação de plantio do eucalipto foi no sulco de 200 kg ha<sup>-1</sup> de superfosfato

simples, mais 120 g planta<sup>-1</sup> da formulação NPK 06-30-06 com 0,5% B e 1,5% Zn, metade em cada lado da cova, a uma distância de 15 a 20 cm da muda. Na semana seguinte ao plantio foi realizada uma adubação de cobertura na projeção da copa com 120 g planta<sup>-1</sup> de NPK 20-00-20 e uma com 200 g planta<sup>-1</sup> em novembro de 2012 e em fevereiro de 2013 aplicou-se 15 g planta<sup>-1</sup> de ácido bórico na projeção da copa de cada árvore.

Nos anos de plantio, nos três primeiros ciclos agrícolas em faixas entre os renques de *Eucalyptus* spp. foi realizada a semeadura simultânea em sistema de plantio direto do milho (AG 8088 VT PRO) consorciado com capim braquiária (*Urochloa brizantha* cv. Piatã) em 0,70 m entre linhas, respeitando-se uma distância de 1 metro entre a primeira linha de semeadura do milho/braquiária dos renques de eucalipto. A adubação de semeadura do milho, nas três safras, consistiu de 400 kg ha<sup>-1</sup> de NPK 08-28-16 e quando o milho atingiu o estágio V6-V7 foi realizada a adubação de cobertura, 250 kg ha<sup>-1</sup> de ureia (Souza & Lobato, 2004).

Após a colheita do milho, no terceiro ano, permaneceu a pastagem em sistema silvipastoril (SPP) até o presente momento. Em setembro de 2014 foi realizado o desbaste de 50% das árvores em metade dos renques implantados em 2009. Em setembro de 2015 realizou-se o mesmo procedimento nos renques implantados em 2011. Nestas áreas, em 17 de agosto de 2014, foi distribuído a lanço 2 t ha<sup>-1</sup> calcário e 2 t ha<sup>-1</sup> gesso agrícola em superfície. Em 17 de novembro de 2014 foi realizado a adubação de cobertura distribuídos a lanço 250 kg ha<sup>-1</sup> SSP mais 250 kg ha<sup>-1</sup> de KCl. No mesmo momento de implantação dos sistemas em 2009, em uma área contígua a pleno sol (PS) de 400 m<sup>2</sup>, foi implantado o consórcio do milho e capim Piatã adotando-se o mesmo manejo e tratos culturais descritos anteriormente para áreas entre os renques de eucalipto. A caracterização química do solo na área experimental foi realizada nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, em março de 2016 (Tabela 1).

**Tabela 1** - Caracterização química solo da área experimental nas profundidades de 0-20 e 0-40 cm, Sete Lagoas, MG, 2016.

Amb. **	Prof.	Atributos químicos do solo*											
		pH <sup>1</sup>	M.O	H+A	Al <sup>+</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Ca <sup>+2</sup>	SB	CTC	K	P	V	m
	Cm	dag <sup>1</sup> Kg	cmole <sup>-1</sup> cm <sup>-3</sup>						---mg <sup>-1</sup> dm---		-----%-----		
SSP1	0-20	5,53	5,30	8,40	0,78	0,42	2,24	2,78	11,18	48,57	9,11	23,65	29,24
	20-40	5,21	4,03	9,35	1,52	0,07	0,67	0,77	10,12	12,17	3,11	7,58	66,51
SSP2	0-20	5,29	4,53	9,07	0,97	0,29	1,42	1,78	10,84	25,26	7,34	15,30	42,50
	20-40	5,24	4,98	9,09	1,49	0,04	0,40	0,46	9,55	11,35	3,48	4,77	76,69
SSP3	0-20	5,44	4,01	7,50	0,37	0,49	3,37	4,02	11,53	63,57	12,27	33,78	11,21
	20-40	5,47	4,28	7,68	0,79	0,11	1,25	1,43	9,11	25,94	7,37	15,57	36,50
SSP4	0-20	5,53	4,14	7,92	0,89	0,55	2,89	3,55	11,47	42,78	5,49	29,48	25,76
	20-40	5,52	4,40	8,47	1,57	0,12	1,04	1,20	9,67	15,46	1,88	12,27	57,50
PS	0-20	5,82	4,91	7,91	0,76	0,23	2,38	2,64	10,55	11,20	9,32	26,05	26,36
	20-40	5,67	5,88	8,86	1,28	0,03	0,72	0,76	9,62	2,87	1,75	7,99	62,54
VN	0-20	5,38	3,82	7,49	0,93	0,12	1,52	1,71	9,20	27,07	10,79	17,25	45,77
	20-40	5,13	3,79	7,27	1,20	0,02	0,21	0,26	7,53	9,54	4,39	3,52	82,34

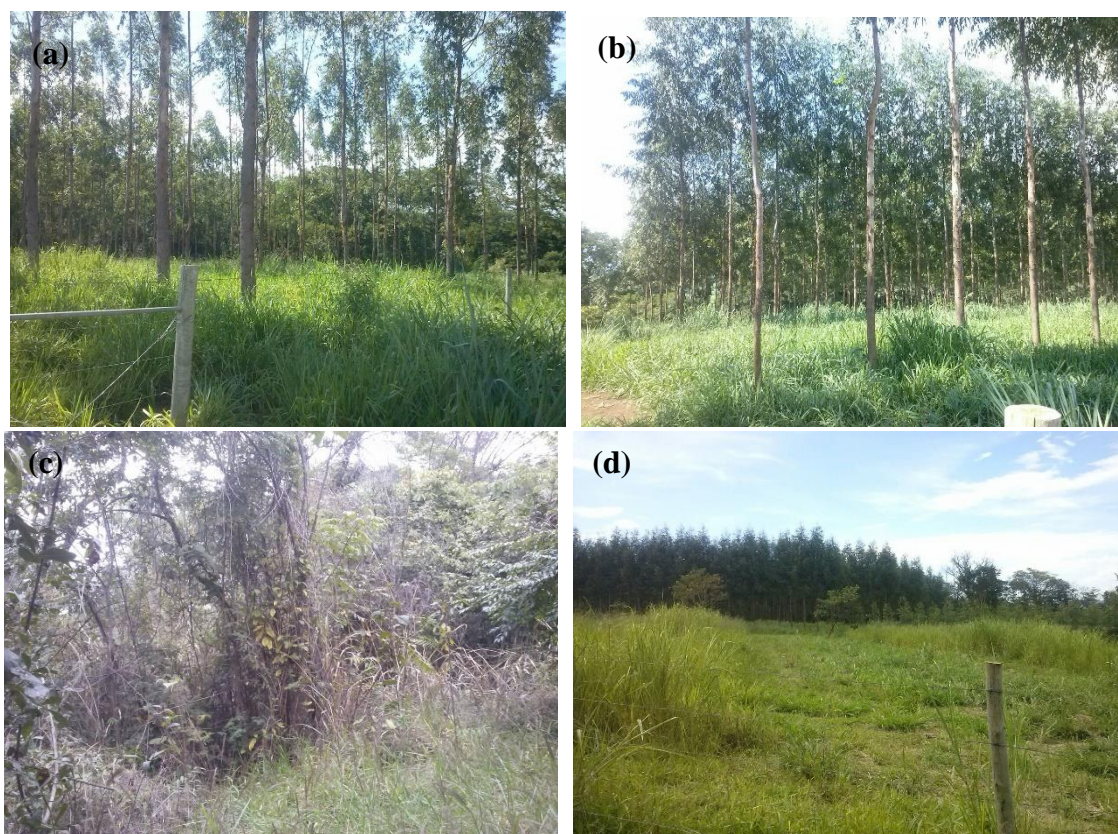
\*Análises realizadas conforme Embrapa (1997). <sup>1</sup> pH- potencial hidrogeniônico em H<sub>2</sub>O; MO – Matéria orgânica do solo pelo Método Walkley e Black H+A – acidez ativa, Extrator Ca (OAc)<sub>2</sub> 0,5 mol pH 7,0; Al – alumínio, Extrator KCl 1 mol L<sup>-1</sup>; Mg – magnésio; Ca – cálcio; SB – soma de bases; CTC – capacidade de troca catiônica; K – potássio; P – fósforo, Extrator Mehlich-1; V – saturação de bases; m – saturação de alumínio; \*\*Sistemas: silvipastoris (SSP): implantado em 2009 com 333 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP1), em 2009 com 166 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP2), em 2011 com 333 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP3) e em 2011 com 166 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP4); pastagens à pleno sol (PS).



## Sistemas avaliados

Os tratamentos foram compostos por seis ambientes: sistemas silvipastoris implantados em 2009, um com 333 árvores ha<sup>-1</sup> (SSP1), outro com 166 árvores ha<sup>-1</sup> (SSP2); implantados em 2011 com 333 árvores ha<sup>-1</sup> (SSP3) e com 166 árvores ha<sup>-1</sup> (SSP4); pastagens *U. braquiária* cv. Piatã, a pleno sol implantada em 2009 (PS) e vegetação nativa de Floresta Estacional Semidecidual de transição para Cerrado (VN), classificado por Costa et al. (2015).

Na Figura 2 são apresentados alguns dos sistemas implantados avaliado neste trabalho.



**Figura 2** – Sistemas avaliados: (a) Sistema silvipastoril implantado em 2009 e 166 árvores ha<sup>-1</sup> – SSP2; (b) Sistema silvipastoril implantado em 2011 e 333 árvores ha<sup>-1</sup> – SSP3; (c) Floresta Estacional Semidecidual de transição para Cerrado (VN) e (d) Pastagem de *U. braquiária* cv. Piatã a pleno sol (PS) com sete anos de implantação

## Amostragens e Análises dos solos

Em março de 2016, foram abertas trincheiras (0,80 x 7,5 x 1,2 m) perpendiculares aos renques de eucalipto, a partir da linha eucalipto até o centro da faixa entre renques, para a coleta das amostras deformadas de solo para análises dos teores de carbono e densidade do solo, em quatro distâncias a partir da linha de eucalipto (0,5; 1,25; 3,0 e 7 m), nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20; 20-40; 40-60 e 60-100 cm, com três repetições (Figura 3). Nas áreas de vegetação nativa (VN) e de pastagem (PS) foram abertas as trincheiras (1 x 1 x 1,2 m) e coletadas amostras de solo nas profundidades supracitadas, com três repetições.

As amostras para densidade do solo ( $D_s$ , g cm<sup>3</sup>) foram retiradas, por meio de anéis de aço inox com 5 cm de diâmetro e volume conhecido, acondicionadas em saco plásticos e levadas ao laboratório, para a determinação do peso seco em estufa a 104 °C até atingir peso constante, conforme Baena (1979). No mesmo momento foram coletadas amostras e secas ao ar, homogeneizadas, moídas e passadas por peneiras de 0,150 mm para posterior determinação dos teores de C orgânico total (COT, g kg<sup>-1</sup>) por combustão seca no aparelho Leco® (Nelson; Sommers, 1996).

Constatado diferença significativa ( $p < 0,005$ ) entre as densidades nos tratamentos, realizou-se a correção deste cálculo de estoque de carbono (ECS), utilizando como referência a massa de solo encontrada em camadas equivalentes da mata nativa uma vez que o solo da vegetação nativa apresentou variação de densidade em relação aos solos antropizados.

Para correção das espessuras das camadas de solo com base na massa, a espessura dos solos cultivados ( $Z$ ) foi corrigida ( $Z_c$ ) conforme metodologia proposta por Solomon et al. (2002) onde a espessura da camada foi ajustada com base na relação entre as densidades do solo cultivado e da Floresta Estacional Semidecidual de transição para o cerrado, a fim de evitar superestimações em cálculos dos estoques de C que acabam por mascarar resultados de acumulação desse elemento em solos com densidades diferentes em função do manejo.

$$Z_c = \left( \frac{D_a \text{ (densidade aparente do solo da mata nativa)}}{D_a \text{ (densidade aparente do solo cultivado)}} \right) * Z$$

Os ECS (Mg ha<sup>-1</sup>) foram calculados a partir do conteúdo COT das amostras (g kg<sup>-1</sup> solo), a espessura corrigida pela massa considerada ( $Z_c$ , cm) e a densidade aparente  $D_a$  (g cm<sup>-3</sup>), empregando-se a fórmula segundo Vedkamp (1994):

$$ECS = \frac{(C * D_s * Z_c)}{10}$$

em que

ECS = estoque de carbono do solo (Mg ha<sup>-1</sup>);

C = teor de carbono do solo (g kg<sup>-1</sup>);

DS = densidade do solo (g cm<sup>-3</sup>); e

$Z_c$  = espessura da camada do solo (cm)

Foi elaborado gráficos de ECS, sendo o gráfico 1 padronizado os dados a base 1 cm de solo avaliado, obtendo o ECScm<sup>-1</sup>.

### **Análises estatísticas**

Para a comparação entre sistemas de produção, nos tratamentos envolvendo os sistemas silvipastoris, foram calculados os dados médios das quatro distâncias por cada faixa de amostragem para os parâmetros avaliados.

Os dados foram submetidos aos testes de Lilliefors e Bartlett para verificação de distribuição da normalidade e homocedasticidade, respectivamente.



Foram calculadas as médias para as distâncias nos sistemas silvipastoris e, posterior comparação aos valores das repetições nos ambientes de vegetação nativa e pastagem, em cada uma das seis profundidades do solo. Os dados médios dos sistemas foram submetidos à análise de variância segundo o delineamento experimental inteiramente ao acaso no arranjo de parcelas subdivididas, sendo as parcelas, os tratamentos compostos por seis ambientes (SSP1, SSP2, SSP3, SSP4, PS e VN) e seis profundidades nas subparcelas, com três repetições. Para comparação entre as médias foi utilizado o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para análise estatística foram adotados níveis de significância de 1 e 5% de probabilidade, e utilizado o pacote computacional R core team 2017.

## Resultados e Discussão

Para teores de COT foram observados efeito significativo para os ambientes e profundidades avaliadas, entretanto não houve significância para a interação ambiente x profundidade ( $p > 0,05$ ).

Verificou-se uma redução nos teores de COT com a profundidade em todos os ambientes avaliados (Tabela 2). Os sistemas de produção avaliados apresentaram teores médios de COT no solo, no perfil de 0-100 cm, superiores aos teores do solo sob VN, exceto o SPP3, que não apresentou diferença significativa (Tabela 2). Neste sentido, os sistemas implantados em 2009 apresentaram teores médios de COT no solo 37,2% superiores ao solo sob VN, enquanto os sistemas implantados em 2011 foram superiores em 14,5% 3m relação ao VN.

**Tabela 2** – Teores médios e desvio de padrão de Carbono Orgânico Total (COT, g kg<sup>-1</sup>) em diferentes profundidades do solo (cm) sob sistemas silvipastoris (SSP) e pastagem a pleno sol (PS), em Sete Lagoas, MG

Ámb.*/Prof. (cm)	COT (g kg <sup>-1</sup> )						Média
	0-5	5-10	10-20	20-40	40-60	60-100	
SSP1	37,3 ±3,1	32,9 ±0,8	26,5 ±0,7	23,1 ±1,4	20,1 ±0,6	18,0 ±0,8	26,3 ±7,2 A
SSP2	34,0 ±0,8	28,9 ±1,6	26,4 ±0,9	23,0 ±0,4	19,4 ±0,5	17,8 ±0,7	24,9 ±5,8 A
SSP3	28,6 ±1,0	24,9 ±0,9	21,2 ±1,1	17,8 ±1,0	18,2 ±2,4	15,9 ±0,3	21,1 ±4,7 BC
SSP4	30,2 ±1,8	25,6 ±0,9	22,6 ±2,5	19,6 ±1,0	18,1 ±1,2	18,1 ±0,7	22,4 ±4,7 B
PS	38,9 ±10,6	34,2 ±1,9	29,3 ±0,7	23,0 ±1,3	19,1 ±0,5	17,6 ±0,9	27,0 ±8,9 A
VN	29,3 ±1,7	24,4 ±2,3	18,8 ±2,2	14,6 ±1,7	12,6 ±0,7	12,8 ±1,4	19,0 ±6,7 C
<b>Média</b>	<b>33,1 ±5,6 a</b>	<b>28,5 ±4,2 b</b>	<b>24,1 ±3,9 c</b>	<b>20,5 ±3,2 d</b>	<b>17,9 ±2,7 e</b>	<b>16,7 ±2,1 e</b>	

Médias seguidas de letras distintas, minúscula na linha, maiúscula na coluna, diferem pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ )

\*Ambiente avaliado: implantado em 2009 com 333 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP-1), e com 166 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP-2), em 2011 com 333 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP-3) e com 166 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP-4); pastagens a pleno sol em 2009 (PS) e vegetação nativa (VN).

Assim, os sistemas com maior tempo de implantação (PS, SPP1 e SPP2) apresentaram maiores teores de COT no solo que os sistemas mais jovens (SPP3 e SPP4), indicando um potencial de fixação de C no solo com o tempo de estabelecimento.

De modo geral, ocorreu uma variação dos valores de COT de 21% nos ambientes avaliados, e foram superiores para solos sob sistemas implantados em 2009 (PS, SSP1 e

SSP2) em relação aos demais solos, evidenciando maior estabilidade destes sistemas integrados e semelhante à pastagem (PS) (Tabela 2).

A contribuição da serapilheira nestes sistemas integrados há mais tempo implantado (Moreira et al. 2017) bem como o aumento da produção da forrageira no PS (Moreira et al., 2018, p. 61) pode ter acarretado em maior quantidade de raízes produzidas e liberação de exsudatos pelas raízes no solo, assim contribuem para acréscimos no COT. Outra inferência é a deposição de serapilheira nestes sistemas e a presença de material senescente e dejetos dos animais durante ciclo de pastejo ocorrido há mais tempo nestes sistemas se comparado aos sistemas SSPs mais recentes.

Sob vegetação nativa encontrou-se menores valores de COT ( $19,0 \text{ g kg}^{-1}$ ) que os demais ambientes, embora similar ao sistema SSP3 ( $21,1 \text{ g kg}^{-1}$ ) (Tabela 2). Existe uma variabilidade de fatores que influenciam no teor COT do solo, tal como tipo de vegetação, clima e propriedades do solo. Fica evidente que o capim nos sistemas interfere no acúmulo C no solo.

Os resultados sugerem que os sistemas integrados e pastagem PS favorecerem maior aporte de resíduos orgânicos e, conseqüentemente o aumento nos teores de MOS em relação ao solo da VN de Floresta Estacional Semidecidual de transição para cerrado. As pastagens bem manejadas, em contraste com cultivos anuais em plantio convencional e em plantio direto, têm a capacidade de aumentar o teor de COT acima dos teores originais observados com vegetação nativa segundo Fujizaki et al., (2015). Estes autores analisaram resultados de 21 experimentos incluindo 52 pastagens ( $\pm 17,6$  anos) e verificaram incrementos de COS relativos de  $9,8 \pm 4,3\%$  e  $11,9 \pm 4,0\%$  no manejo convencional e melhorado, respectivamente. As pastagens apresentaram incrementos relativos médios de  $6,8 \pm 3,1\%$  nos teores de COS se comparado à vegetação nativa na Amazônia.

Navarrete et al. (2016) no noroeste de Minas Gerais sob Latossolo Vermelho com textura muito argilosa, com diferentes usos e cobertura do solo: Cerrado nativo (CN); eucalipto + arroz (EA); eucalipto + soja (ES); eucalipto + pastagem (EP); eucalipto + pastagem + gado de corte (EPG); pastagem plantada (PP); e eucalipto convencional (EC), explica que os incrementos no COS nos anos iniciais ocorrem em decorrência do aporte inicial de liteira após o corte da vegetação nativa com a mudança do uso do solo para pastagem. A redução gradual desta fração com o tempo foi associada à diminuição da biomassa vegetal em função da maior intensidade de desfolha e ao aumento da suscetibilidade à erosão. Esses autores verificaram que o CN apresentou maiores teores de COS na profundidade 0–5 cm, seguido do EC; já os outros sistemas tiveram teores similares, atribuído ao curto período de implantação dos sistemas, sendo menos estáveis à incorporação dos resíduos orgânicos.

Em relação às profundidades de solo avaliadas, verificou-se que os maiores teores de COT foram obtidos nos primeiros 5 cm mais superficiais de solo (Tabela 2) ocorrendo redução gradual com a profundidade. Corroborando com Gato et al. (2010), Silva et al (2016) e Rossi et al. (2012). Uma das justificativas para maiores teores de COT na camada superficiais do solo em áreas arborizadas é o aporte de material orgânico, proveniente da queda de folhas, galhos e das cascas das árvores, formando a serrapilheira e à maior densidade de raízes finas bem distribuídas em áreas com pastagens, interferindo no acúmulo de C na superfície do solo.

Em todos os ambientes, os teores de COT variaram de médio a alto, independente do local de amostragem. De modo geral, os valores encontram-se dentro do considerado ideal, na camada de 0-20 cm, (2,33 a 4,06 dag kg<sup>-1</sup>) de acordo com Alvarez et al. (1999) da Comissão de Fertilidade do Solo de Minas Gerais (CFSEMG).

Entre as camadas 40-60 e 60-100 não se detectaram diferenças entre os valores das médias dos ambientes quanto ao COT (Tabela 2).

Silva et al (2016) avaliaram nas profundidades 0-10, 10-20, 20-30 e 30-50 cm, o efeito de renques de *Eucalyptus urophylla* e diferentes sistemas de manejo nas propriedades físicas e COT de um Latossolo Amarelo em sistemas integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) em dois anos de cultivo. As amostras foram coletadas em quatro profundidades de solo e em duas distâncias a 2,5 m do renque florestal (ILPF2,5) e a 10 m (ILPF10), monocultivo florestal com Eucalipto com 2 anos de cultivo, no sistema Santa Fé e mata nativa como testemunha. Os autores verificaram que maiores teores de COT foram encontrados nas camadas superficiais do solo, com redução em profundidade. O sistema ILPF e o sistema silvipastoril melhoraram as condições de densidade e porosidade do solo e os teores de COT do solo.

Entre as médias obtidas para cada sistema, valores mais elevados dos teores de COT foram verificados na pastagem PS e nos sistemas silvipastoris (SSP1 e SSP2), áreas com sete anos implantados. Estes ambientes não apresentaram diferenças estatísticas entre si, independentes da densidade arbórea (Tabela 2). D'Andrea et al. (2004) observaram valores médios de carbono orgânico para Latossolo Vermelho na região do cerrado variando de 14,5 a 16,5 g kg<sup>-1</sup>, valores superiores a este foram observados no presente trabalho.

Em relação à densidade do solo (Ds), houve efeito significativo para a interação ambientes e profundidade avaliada (p<0,05) (Tabela 3).

**Tabela 3** – Valores médios de Densidade do Solo (Ds, g cm<sup>3</sup>) em sistema silvipastoris (SSPs) com eucalipto e *U.brizantha* cv. Piatã, pastagens à pleno sol (PS) e vegetação nativa (VN), nos anos de 2009 e 2011 em diferentes profundidades do solo (cm) na Embrapa Milho e Sorgo.

Ámb. */Prof.	Densidade do solo (Ds, g cm <sup>3</sup> )						Média
	0-5	5-10	10-20	20-40	40-60	60-100	
SSP1	1,04 ±0,063 abcA	1,08 ±0,016 aA	1,06 ±0,023 abA	0,97 ±0,018 bcA	0,95 ±0,009 cA	0,96 ±0,010 cA	1,01 ±0,058
SSP2	1,04 ±0,009 aA	1,03 ±0,017 abA	1,00 ±0,027abcA	0,94 ±0,016 bcdA	0,93 ±0,032cdA	0,88 ±0,002 dA	0,97 ±0,062
SS3	1,07 ±0,027 aA	1,05 ±0,007 abA	1,01 ±0,024 abA	0,96 ±0,03 bcA	0,89 ±0,009 cA	0,89 ±0,031 cA	0,98 ±0,078
SSP4	1,10 ±0,000 aA	1,09 ±0,014 aA	1,04 ±0,049 abA	0,98 ±0,031 bcA	0,91 ±0,015cdA	0,88 ±0,014 dA	1,00 ±0,089
OS	1,07 ±0,090 aA	1,05 ±0,076 aA	1,04 ±0,031 aA	0,99 ±0,055 abA	0,92 ±0,035bcA	0,89 ±0,040 cA	0,99 ±0,087
VN	0,83 ±0,052 dB	1,05 ±0,059 aA	1,08 ±0,096 aA	1,01 ±0,027 abA	0,95 ±0,062bcA	0,9 ±0,011 cdA	0,97 ±0,100
<b>Média</b>	<b>1,03 ±0,102</b>	<b>1,06 ±0,039</b>	<b>1,04 ±0,049</b>	<b>0,97 ±0,034</b>	<b>0,92 ±0,035</b>	<b>0,9 ±0,036</b>	<b>0,99 ±0,08</b>

Médias seguidas de letras distintas, minúscula na linha, maiúscula na coluna, diferem pelo teste Tukey (p<0,05)

\*Ambientes avaliados: implantado em 2009 com 333 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP1), e com 166 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP-2), em 2011 com 333 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP3) e com 166 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP4); pastagens à pleno sol implantada em 2009 (PS) e vegetação nativa (VN).

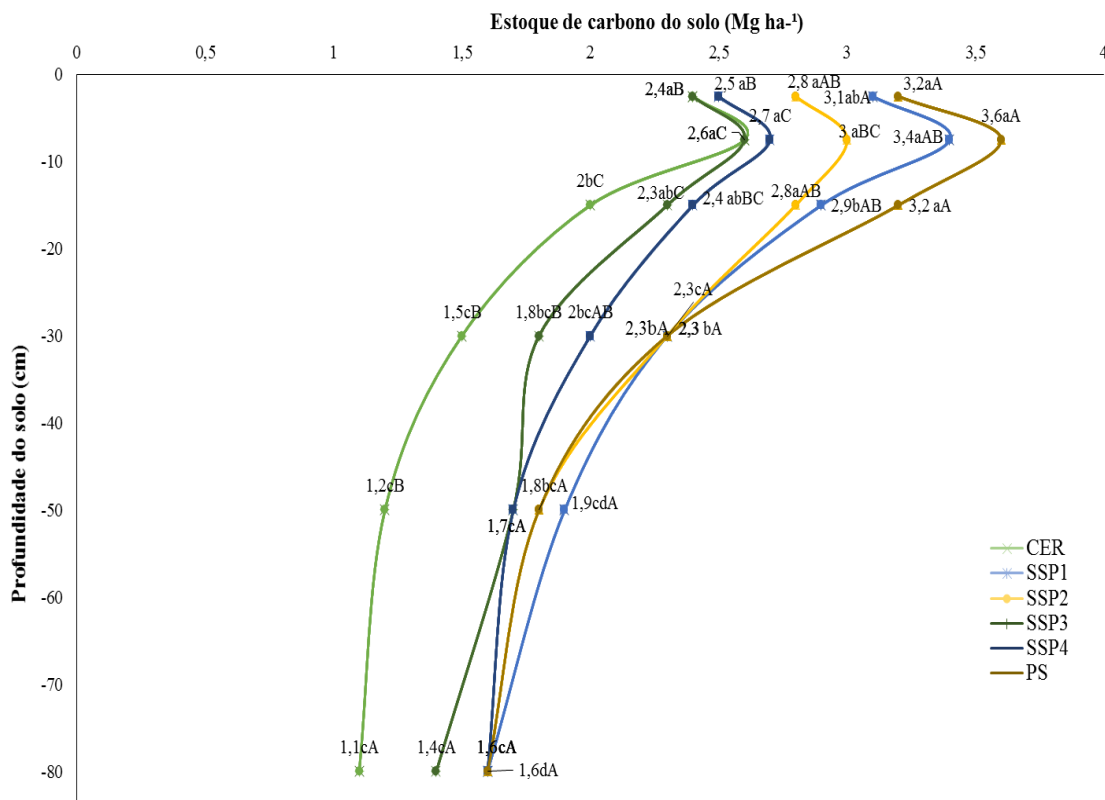
A Ds mostrou aumento significativo, especialmente quando a Floresta Estacional Semidecidual de transição para cerrado foi substituída por pastagem PS e sistemas silvipastoris nas camadas superficiais até 40 cm do solo (Tabela 3).

Nos sistemas os resultados, em parte, podem ser explicados por trânsito de máquinas na área para procedimentos de nivelamento da pastagem, revolvimento do solo no momento da implantação, e o pisoteio de animais nas áreas durante os períodos de ocupação 7-10 dias de pastejo, levando a um ligeiro aumento da compactação no solo com valores superiores a  $1,0 \text{ g cm}^3$ .

Os resultados obtidos por Costa et al. (2009) alcançaram na mata nativa remanescentes de Mata Atlântica, valores de  $0,90$  e  $1,15 \text{ kg dm}^{-3}$ , para as camadas de  $0-5$  e  $5-15 \text{ cm}$ , respectivamente, enquanto nas pastagens, as pressões mecânicas exercidas no solo tanto no período de formação dos pastos quanto pelo pisoteio do gado, proporcionaram valores mais altos de densidade do solo nestas camadas, apresentando valores médios de  $1,36 \text{ kg dm}^{-3}$  na primeira e  $1,48 \text{ kg dm}^{-3}$  na segunda camada.

Observa-se que a Ds reduziu com aumentou a profundidade do solo, nos ambientes antropizados e na mata nativa o cerrado aumentou com a profundidade (Tabela 4). Carvalho et al. (2004), em sistemas agroflorestais e sistemas de plantio convencional estratificado nas camadas de  $0$  até  $20 \text{ cm}$ , verificaram que sob sistema agroflorestal (Ds média de  $0,91 \text{ g cm}^3$ ) se mantiveram dentro do limite considerado normal em todas as profundidades avaliadas na faixa de Ds =  $0,7$  a  $1,0 \text{ g cm}^3$  (Goedert et al., 2002) para Latossolo Vermelho.

Os solos avaliados neste estudo apresentaram média de Ds de  $0,99 \text{ g cm}^3$ . Cabe salientar que os valores de Ds podem oscilar de acordo o manejo, tipo e classe solo e que não existe consenso sobre um valor específico (Carvalho et al., 2004). No gráfico 1, os resultados de  $\text{ECScm}^{-1}$  evidenciam que, em todos os ambientes avaliados, a medida que se eleva a profundidade do solo em  $\text{cm}$ , reduz o  $\text{ECScm}^{-1}$ , em  $\text{Mg ha}^{-1}$  (Gráfico 1).



**Gráfico 1** – Valores médios de Estoque de Carbono do Solo ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) por  $\text{cm}^{-1}$  no solo sob os ambientes: sistemas silvipastoris (SSP); implantado em 2009 com  $333 \text{ árv. ha}^{-1}$  (SSP-1), e com  $166 \text{ árv. ha}^{-1}$  (SSP-2), em 2011 com  $333 \text{ árv. ha}^{-1}$  (SSP-3) e com  $166 \text{ árv. ha}^{-1}$  (SSP-4); pastagens à pleno sol implantada em 2009 (PS) e vegetação nativa (VN) \*Médias seguidas de letras distintas diferem pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ), minúscula compara nas camadas de solo (cm) e maiúscula compara ambientes avaliados.

Todos os ambientes avaliados apresentaram maiores valores  $\text{ECS cm}^{-1}$  nas camadas superficiais até 20 cm de solo e reduziu gradativamente ao longo do perfil do solo.

No solo sob VN foram observados valores maior de sequestro de C na camada superficial 0-10 cm do solo, reduziu a partir da camada de 10-20 cm, decrescendo nas demais camadas.

Verificou-se que os sistemas com maior tempo de implantação, há sete anos (SSP1, SSP2 e PS) apresentaram maiores valores de ECS na camada superficial até 20 cm do solo e decresceu nas demais profundidades.

Assad et al. (2013) observaram ECS na profundidade de 0 a 30 cm variaram de 27,3 a 123  $\text{Mg ha}^{-1}$  sob vegetação nativa, de 15 a 115  $\text{Mg ha}^{-1}$  em cultivos anuais e de 16 a 100  $\text{Mg ha}^{-1}$  em sistema de pastagem.

Os sistemas mais recentes de implantação (SSP3 e SSP4) mantiveram o comportamento similar para os  $\text{ECS cm}^{-1}$  nas profundidades avaliadas, todavia, a partir de 15 cm ocorre redução ao longo do perfil do solo (Gráfico 1).

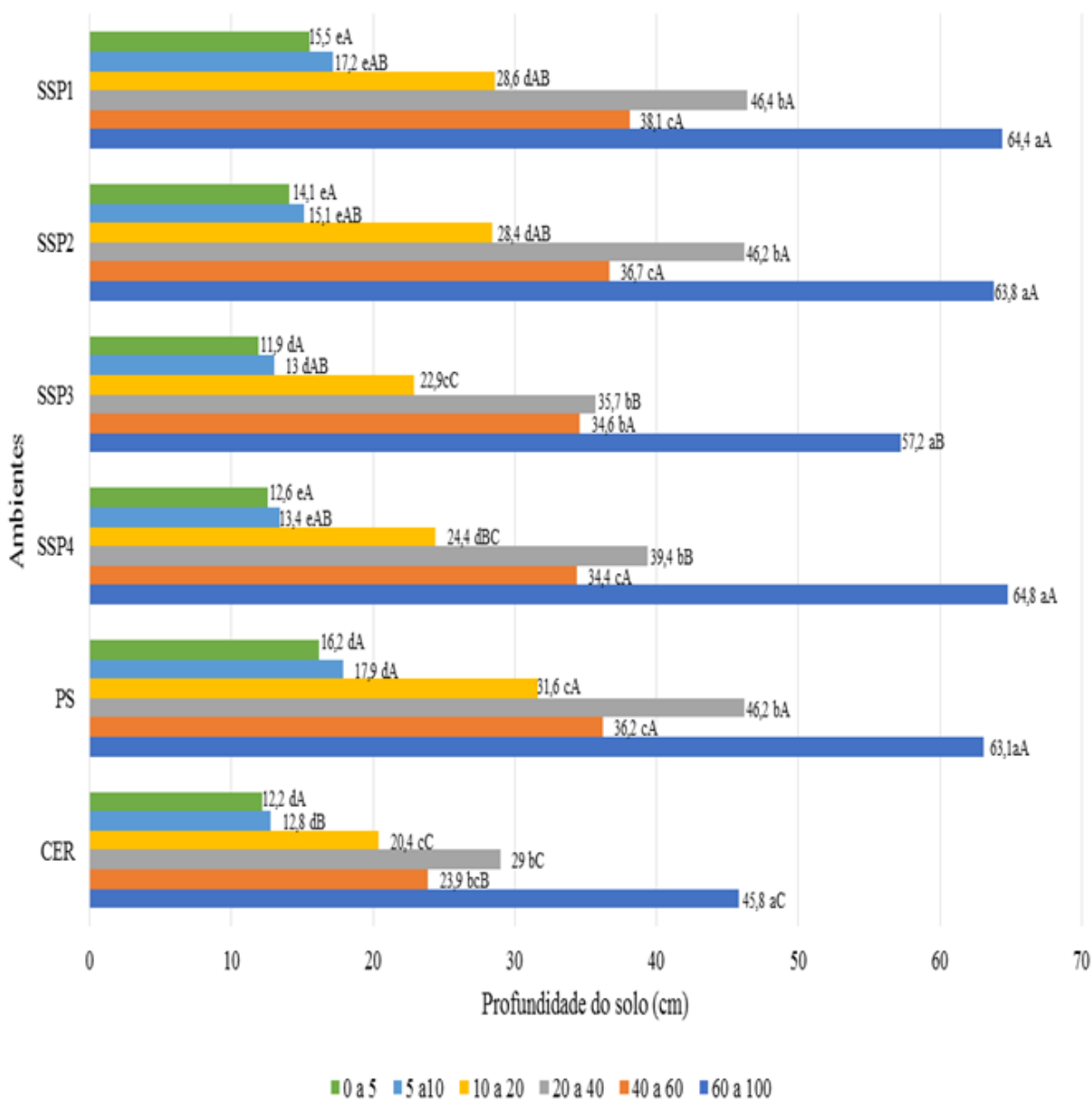
Em relação aos ambientes estudados, verificou-se que nas camadas de 0-5 e 10-20 cm, os maiores  $\text{ECS cm}^{-1}$  foram para os sistemas há mais tempo estabelecido (SSP1, SSP2 e PS) se comparado aos demais sistemas (Gráfico 1).

Na camada de 5-10 cm, exceto o sistema implantado em 2009 com densidade de 133 árvores.  $\text{ha}^{-1}$  (SSP2) que apresentou menor valor e não diferiu dos demais, indicando que a maior densidade arbórea no sistema contribui por proporcionar volume de material senescente de serapilheira nestas áreas e naturalmente uma maior decomposição e conseqüentemente um aumento na mineralização da MOS, que influencia no ECS.

Na camada 40-60 cm, quanto ao  $\text{ECS cm}^{-1}$  os sistemas avaliados não diferem entre si e foram maiores que sob cerrado (Gráfico 1). Nas camadas mais profundas 60-100 cm apresentaram uma similaridade entre os solos dos ambientes avaliados com média (1,5  $\text{Mg ha}^{-1}$  de ECS).

Neste trabalho verificou-se que a associação de pastagens de *U. brizantha* cultivar Piafã e eucaliptos favoreceu para o ECS, embora também a pastagem em monocultivo PS tenha apresentado maiores incrementos (Gráfico 1). Ambos sistemas podem ser uma solução para mitigar as altas emissões de gases de efeito estufa no setor pecuário. Há relatos de Salton et al. (2011) que as maiores taxas de acúmulo e os maiores ECS ocorrem nos sistemas com pastagem permanente, atribuídos ao elevado aporte de material vegetal comumente proporcionado pelas pastagens, enquanto os menores valores ocorrem nos sistemas com lavouras anuais e os valores intermediários nos sistemas com integração lavoura-pastagem.

Em relação ao ECS houve significância para sistemas, profundidades, e a interação entre estes fatores ( $p < 0,05$ ). Os valores médios estão apresentados no Gráfico 2 a seguir. E estes valores de ECS oscilam com relação às profundidades avaliadas ao longo do perfil do solo (Gráfico 2).



**Gráfico 2** – Valores médios de Estoque de Carbono do Solo ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) em diferentes profundidades do solo (cm) sob ambientes: sistemas silvipastoris (SSP); implantado em 2009 com  $333 \text{ árv. ha}^{-1}$  (SSP1), e com  $166 \text{ árv. ha}^{-1}$  (SSP2), em 2011 com  $333 \text{ árv. ha}^{-1}$  (SSP3) e com  $166 \text{ árv. ha}^{-1}$  (SSP4) e pastagem a pleno sol (PS) e vegetação nativa (VN), em Sete Lagoas, MG. \*Médias seguidas de letras distintas diferem pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ), sendo que minúsculas compara nas camadas de solo (cm) e maiúsculas compara ambientes avaliados.

No Gráfico 2, independente das camadas consideradas para ECS, foi inferior sob solo de vegetação nativa que se comparado aos demais sistemas cultivados.

Entre os sistemas avaliados, o ECS apresentou uma similaridade na camada superficial do solo (0-5 cm) (Gráfico 2). A partir da camada 5-10 cm os maiores valores apresentados no solo da pastagem PS e valores inferiores obtido no solo sob cerrado, que não diferem dos demais. Pressupõe que nas camadas superficiais o C já decomposto contribui para ECS e nas áreas onde tem árvores a deposição de liteira criou alguma alteração na camada superficial do solo em relação ao cerrado, assim, a quantidade e qualidade de liteira podem afetar a estabilidade do ECS ao alterar a abundância relativa de compostos lábeis e recalcitrantes retornados ao solo. Na camada de 0 a 20 cm, observou-se o valor médio de 21,9 Mg C ha<sup>-1</sup> sob pastagem a pleno sol, enquanto o cerrado este valor foi de 15,13 Mg C ha<sup>-1</sup> e nos sistemas silvipastoris SSP1, SSP2, SSP3 e SSP4 mostraram-se os valores de 20,43, 19,2, 32,53, 16,8 Mg C ha<sup>-1</sup> respectivamente (Gráfico 2).

De modo similar tem sido demonstrado no trabalho de Rosendo e Rosa (2012) maiores ECS em pastagem de *brachiaria* melhorada, apresentando valores de ECS superiores em relação ao cerrado. Esses autores verificaram que para camada de 0 a 20 cm de solo, nas pastagens melhoradas apresentaram ECS de 43,92 Mg C ha<sup>-1</sup>, enquanto o cerrado 38,05 Mg C ha<sup>-1</sup> e a pastagem degradada 34,63 Mg C ha<sup>-1</sup>. Neste estudo os valores encontrados foram superiores (65,7 Mg C ha<sup>-1</sup>) para a pastagem nesta mesma profundidade. Esses autores, na profundidade 20 a 40 cm, verificaram que a pastagem melhorada atingiu 33,5 Mg C ha<sup>-1</sup>, o cerrado 26,80 Mg C ha<sup>-1</sup> e a pastagem degradada 27,51 Mg C ha<sup>-1</sup>, e concluíram que pastagens bem estabelecidas e manejadas, podem contribuir no aumento da taxa de conteúdo de carbono no solo.

Araújo et al. (2011) verificou maior ECS na área de pastagem quando comparado à área de floresta explica que pode ser em virtude do maior acúmulo de MOS à superfície em razão do sistema radicular das gramíneas.

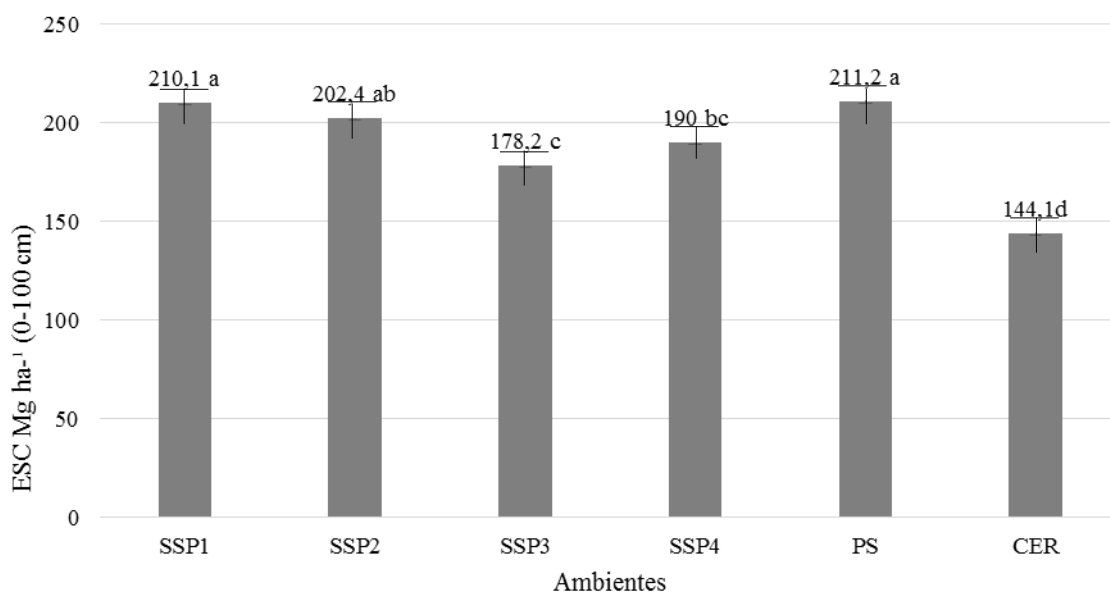
Na camada 10-20 cm e 20-40 cm fica evidente o maior armazenamento de C na pastagem PS que não diferem dos sistemas implantados em 2009 (SSP1 e SSP2) independentemente da densidade arbórea. Nesta profundidade valores inferiores foram observados nos solos sob vegetação nativa e também nos sistemas silvipastoris há menos tempo estabelecido (SSP3 e SSP4) (Gráfico 2).

Na camada de 60-100 cm não houve diferenças entre os ambientes avaliados, porém superiores ao solo sob vegetação nativa. A conversão desta área para sistemas agrícolas avaliados favoreceu para incrementos no ECS do solo nesta profundidade.

Embora, Gatto et al. (2010) ao estimarem o ECS com plantações de eucalipto de 7 anos de idade na região centro-leste do Estado de Minas Gerais, nas profundidades 0–20, 20–40, 40–60 e 60–100 cm e, sobre uma diversidade de classes de solos, verificaram que altitude, déficit hídrico e teores de argila e Al são as características responsáveis pelas maiores variações dos ECS até 1 m de profundidade.

Os resultados obtidos no presente estudo demonstram que no perfil total do solo amostrado (0-100 cm), os valores superiores dos ECS foram verificados na pastagem (PS) e nos sistemas silvipastoris (SSP1 e SSP2), áreas com sete anos de implantação (Gráfico 3), mantendo o mesmo padrão de distribuição do COT (Tabela 2).

### Estoque de carbono no perfil do solo



**Gráficos 3** – Valores médios de Estoque de Carbono Total do Solo (Mg ha<sup>-1</sup>) no perfil do solo (0-100 cm) sob ambientes sistemas silvipastoris (SSP): implantado em 2009 com 333 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP1), e com 166 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP2), em 2011 com 333 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP3) e com 166 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP4) e pastagem a pleno sol (PS) e vegetação nativa (VN), em Sete Lagoas, MG. \*Médias seguidas de letras distintas diferem pelo teste Tukey (p<0,05)

Assim, quando manejado adequadamente o solo, os sistemas silvipastoris com maior tempo de implantação (SSP1 e SSP2) podem contribuir para o aumento do carbono no solo, inclusive superior em até 43% ao solo do cerrado. Já os sistemas silvipastoris mais jovens (SSP3 e SSP4) apresentaram 27,7% em relação ao cerrado. Sob pastagem implantada em 2009 e recebendo os mesmos tratamentos culturais elevaram a 46,57% do ECS em relação à mata nativa (Gráfico 3). Comprovando o grande potencial de sequestro de C no solo quando submetidos aos sistemas antropizados avaliados fixando C no solo mais que a mata nativa de Floresta Estacional Semidecidual transição para o cerrado.

Gatto et al. (2010) em estudo na região centro-leste do Estado de Minas Gerais, evidenciam que o plantio de árvores por apresentar maior quantidade de raízes permitiria a alocação de grande quantidade de C orgânico no solo, o qual permaneceria armazenado por período relativamente longo no solo, em comparação com o C orgânico estocado na biomassa, esses autores elucidam que as plantações de eucalipto constituem alternativa efetiva de captura de C e podem estocar pelo menos 50 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> da atmosfera.

Ao contrário do encontrado em outros sistemas com eucalipto e erva-mate, relatadas por Denardin et al. (2014) ao avaliarem ECS, nas profundidades 0 – 5, 5 – 10, 10 – 20, 20 – 30, 30 – 40 e 40 – 50 cm do solo, e encontraram redução de C no solo dos plantios de eucalipto e erva-mate foram na ordem de 26,09 e 56,01%, respectivamente e encontraram 107,67 Mg C ha<sup>-1</sup> em floresta natural, 79,58 Mg C ha<sup>-1</sup> em plantio com *Eucalyptus saligna* e 47,29 Mg C ha<sup>-1</sup> com erva-mate, há 25 anos. Arzuaga et al. (2016) verificaram que houve perdas relevantes das reservas de C e N, e diminuiu as relações de estratificações indicando processo



de degradação e perdas da capacidade suporte do solo quando se adota o uso floresta com *Pinus* ssp. por um período de 20 anos.

Entretanto, a conversão da vegetação nativa para os sistemas silvipastoris mostrou recuperação e até melhoria nas condições do solo, indicando processo de resiliência do solo com base no manejo adotado. De fato, isso pode ser justificado pelo maior aporte de serapilheira, que permanecem sobre a superfície do solo sob estes sistemas, e pelo acúmulo de material orgânico e teores nutricionais nestes mesmos, sobretudo em sistemas há mais tempo implantado (SSP1 e SSP2) conforme demonstrado por Moreira et al. (2017).

A superioridade do ECS nos sistemas integrados e pastagens em relação à mata nativa (cerrado) também foi constatado em Campos et al. (2016) ao avaliarem o ECS e estabilidade de agregados em cinco áreas com diferentes sistemas de uso na região sul da Amazonas, em que os maiores valores foram obtidos nas áreas sob cana-de-açúcar (22,83 Mg ha<sup>-1</sup>) e pastagem *Brachiaria decumbens*, (21,72 Mg ha<sup>-1</sup>) seguidos pelas áreas sob mandioca (18,14 Mg ha<sup>-1</sup>), agroflorestal (sistema com 17 anos de cultivo de espécies frutíferas amazônicas) (16,25 Mg ha<sup>-1</sup>) e floresta nativa (4,72 Mg ha<sup>-1</sup>).

Paul; Clark (1996) ressaltam que a quantidade de C estocada depende da adição dos resíduos de plantas em virtude das diferentes concentrações de proteínas, hemiceluloses, celulose e lignina, das diferentes espécies e dos componentes das plantas (madeira, folhas, sementes, etc). As principais causas do alto teor de nutrientes e C no solo florestal, resultando em elevadas quantidades de C estocados, são a decomposição mais lenta da serapilheira e a imobilização dos nutrientes (Caldeira et al., 2002). Desse modo, a incorporação de árvores nos sistemas é importante para promover aumento dos ECS, além da redução na vulnerabilidade dos sistemas agrícolas (Mowo et al., 2013).

Embora se considere que em sistemas integrados ocorram incrementos no ECS existem autores que elucidam que a diversificação de espécies no sistema pode não favorecer o ECS. No trabalho de Macedo et al. (2015), ao longo de 6 anos, verificaram que teor total de C no solo sob sistema integração lavoura-pecuária (ILP) foi maior que em sistema integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF). Este resultado foi atribuído pelos autores à menor concorrência por luz, água e nutrientes que ajustou a maior fonte de material orgânico para elevar o C do solo do que a pastagem associada com árvores no sistema ILPF.

Neste trabalho, os valores ECS foram superiores nas áreas sob pastagem e SSPs implantados em 2009, em função do sistema radicular bem distribuído e vigoroso das forrageiras bem estabelecidas e em constante renovação, assim caracterizam Reid; Goss (1980) o sistema radicular da *Brachiaria* sp., como abundante e volumoso, que apresenta contínua renovação e elevado efeito rizosférico.

As braquiárias são plantas “produtoras de raízes”, esta especialidade acarreta melhorias na qualidade do solo, tais como aumento de matéria orgânica, formação de agregados mais estáveis e aumento na macroporosidade e canais, isso pode refletir em elevação do ECS (Salton; Tomazi, 2014). Desse modo, as pastagens bem manejadas apresentam potencial elevado de acúmulo e estabilização de C no solo (Cerri et al., 2007).

Além do que, a colheita da parte aérea da pastagem promove aumento na exsudação de compostos orgânicos pelas raízes, além de aumento da rizosfera (Tisdall; Oades, 1982). Assim, quanto maior a presença de raízes como em sistemas silvipastoris, maior será a

exsudação de compostos orgânicos que servirão como fonte de C e de energia à população microbiana. A presença dos animais favorece a deposição de urina e dejetos, aumenta a ciclagem de nutrientes.

Todos os sistemas de uso do solo estudado apresentaram maiores valores de ECS se comparado ao cerrado, embora haja relatos na literatura que em conversões de florestas em pastagens promoveu reduções nos ECS orgânico e C microbiano no solo.

Ao contrário do que observado no presente estudo, Cardoso et al. (2010) verificaram que pastagens *U. decumbens* cultivadas há mais tempo ocorreram perdas de ECS nas três frações húmicas, mas, proporcionalmente, as maiores perdas ocorreram nas frações ácidos húmicos e fúlvicos. Esses autores constataram que as pastagens cultivadas e nativas, sob pastejo contínuo, não são capazes de acumular mais C no solo do que os solos sob vegetação nativa.

A implantação de pastagens em monocultivo e/ou a adoção de sistemas integrados com consorciação do eucalipto e *Urochloa brizantha* cultivar Piatã há mais tempo estabelecido, promoveram aporte elevado de ECS, é visto como alternativas para contribuir com a mitigação de gases de efeito estufa.

### **Conclusões**

Os teores de COT no solo sob pastagens a pleno sol e entre renques de eucalipto foram superiores ao COT no solo sob vegetação nativa.

A densidade aparente na camada de 0-5 cm do solo sob vegetação nativa foi inferior à dos solos antropizados.

Os SSPs apresentaram ECS similares ao da pastagem a pleno sol com o mesmo tempo de implantação e foram superiores ao ECS da área com vegetação nativa, independentemente da densidade arbórea dos sistemas produtivos.

Os ECS aumentaram com o tempo de maturação dos SSPs avaliados, independentemente da densidade arbórea dos sistemas.

### **Referências**

ALVAREZ, V.H.; NOVAIS, R.F. de; BARROS, N.F. de; CANTARUTTI, R.B.; LOPES, A.S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A.C. et al. COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS - CFSEMG. Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação. Viçosa: MG, Embrapa/UFV/SBCS, Cap.5, p.25–32. 1999.

ARAÚJO, E. A. de; KER, J. C.; MENDONÇA, E. de S.; SILVA, I. R. da; OLIVEIRA, E. K. Impacto da conversão floresta - pastagem nos estoques e na dinâmica do carbono e substâncias húmicas do solo no bioma Amazônico. *Acta Amazonica*. v. 41, n.1, 2011, p. 103 – 114.

ARZUAGA, S. A.; TOLEDO, D. M.; LEIVA, S. M. C.; VÁZQUEZ, S. Stocks y relaciones de estratificación del carbono y nitrógeno en oxisoles bajo sistemas forestales. *Cienc Suelo*, Argentina, v.34, n.1, p. 13-20, 2016.

ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; MARTINS, S. C.; et al. Changes in soil carbon stocks in Brazil due to land use: paired site comparisons and a regional pasture soil survey. *Biogeosciences* 10, p. 6141–6160, 2013.

BAENA, A. R. C. Densidade aparente e porosidade do solo no desenvolvimento do milho. Belém, *Embrapa-CPATU, Técnico*, 24, 1979, 11p.

CALDEIRA, M. V. W. et al. Carbono orgânico em solos florestais. In: SANGUETA, C. R. et al. (Ed.). *As florestas e o carbono*. Curitiba: p. 191-214, 2002.

CAMPOS, M. C. C.; SOARES, M. D. R.; NASCIMENTO, M. F.; SILVA, D. M. P. Estoque de carbono no solo e agregados em Cambissolo sob diferentes manejos no sul do Amazonas. *Rev. Ambient. Água*, v. 11, n. 2, Taubaté, abril, 2016. ISSN 1980-993X – doi:10.4136/1980-993X

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

CERRI, C.C. Tropical agriculture and global warming: impacts and mitigation options. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 64, n. 1, p. 83-99, 2007.

CORDEIRO, L. A. M.; VILELA, L.; MARCHÃO, R. L.; KLUTHCOUSKI, J.; GERALDO BUENO MARTHA JÚNIOR. Integração lavoura-pecuária e integração lavoura-pecuária-floresta: estratégias para intensificação sustentável do uso do solo. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, Brasília, v. 32, n. 1/2, p. 15-53, jan./ago. 2015

COSTA, O. V.; CANTARUTTI, R. B.; FONTES, L. E. F.; COSTA, L. M. da; NACIF, P. G. S.; FARIA, J. C. Estoque de carbono do solo sob pastagem em área de tabuleiro costeiro no sul da Bahia. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, v.33, p.1137-1145, 2009.

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

FAGUNDES, J.L.; FONSECA, D.M. MORAIS, R.V.; MISTURA, C.; VITOR, C.M.T.; GOMIDE, J.A.; NASCIMENTO JUNIOR, D.; SANTOS, M.E.R.; LAMBERTUCCI, D.M.

Avaliação das características morfológicas e estruturais do capimbraquiária em pastagem adubada com nitrogênio avaliadas nas quatro estações do ano. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.35, n.1, p.21-29, 2006.

FERREIRA, W. P. M. Caracterização climática das séries temporais de temperatura e precipitação pluvial em Sete Lagoas, MG, 2011. 33 p.:il. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento* / Embrapa Milho e Sorgo, ISSN 1679- 0154; 35.

FREITAS, E. C. S.; OLIVEIRA NETO, S.; FONSECA, D. M.; SANTOS, M. V.; LEITE, H. G.; MACHADO, V. D. Deposição de serapilheira e de nutrientes no solo em sistema sgrassilvipastoril com eucalipto e acácia. *Revista Árvore*, Viçosa, MG, v.37, n. 3. p. 409-417, 2013.

FUJISAKI, K.; PERRIN, A. S.; DESJARDINS, T.; BERNOUX, M, BALBINO, L. C, Brossard M. From forest to cropland and pasture systems: a critical review of soil organic carbon stocks changes in Amazonia. *Global Change Biology*, v.21, n.7, 2015.

GATTO, A.; BARROS, N. F. de; NOVAIS, R. F.; SILVA, I. R. da; LEITE, H. G.; LEITE, F. P.; VILLANI, E. M. de A. Estoques de carbono no solo e na biomassa em plantações de eucalipto. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 34, p. 1069-1079, 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v34n4/07.pdf>. Acesso em 14 de setembro de 2017.

GOEDERT, W.J.; SCHERMACK, M.J.; FREITAS, F.C. de. Estado de compactação do solo em áreas cultivadas no sistema de plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.37, p.223-227, 2002.

LEITE, L. F. C.; ARRUDA, F. P. de; COSTA, C. do N.; FERREIRA, J. da S.; NETO, M. R. H. R. *Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, v.17, n.12, p.1257-1263, 2013.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L. H. C. dos; SILVA, E. M. R. da. Frações orgânicas e índice de manejo de carbono do solo em diferentes sistemas de produção orgânica. *Idesia (Arica)*, Arica, Chile v. 29, n. 2, ago. 2011.

MACEDO, M. C. M.; ALMEIDA, R. G.; ARAUJO, A. R.; FERREIRA, A. D. Soil carbon contents in integrated crop-livestock and crop-livestock-forest systems in the Brazilian Cerrado. In: WORLD CONGRESS ON INTEGRATED CROP-LIVESTOCK-FOREST SYSTEM, 1.; INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INTEGRATED CROP-LIVESTOCK SYSTEMS, 3., 2015, Brasília, DF. Proceedings... Brasília, DF: Embrapa, 2015. p. 323

MARTINS, F. P.; ALMEIDA, R. F.; MIKHAEL, J. E. R.; QUEIROZ, I. D. S.; TEIXEIRA, W. G.; BORGES, E. N. Correlação do COT e porosidade em Latossolo com diferentes usos e manejos na região de Uberaba, MG. *Revista Agrogeoambiental*, Pouso Alegre, v. 7, n. 2, p. 81-90, jun. 2015.

MIRANDA, T.; MACHADO, R.; MACHADO, H.; DUQUESNE, P. Carbono secuestrado en ecosistemas agropecuarios cubanos y su valoración económica: estudio de caso. *Pastos y forrajes*, v. 30, n. 4, p. 483-491, 2007.

MOREIRA, E. D. S.; COSTA, T. C. E. C. da; GONTIJO NETO, M. M.; SANTOS, C. A. dos; CARMO, T. D. do; SOARES, N. de A.; TEIXEIRA, N. P.; LANA, Â. M. Q. Composição química da serrapilheira em sistemas silvipastoris com eucalipto e *Urochloa brizantha* cv. *Piatã*. XII Congresso Nordestino de Produção Animal. *Anais ... Polo Petrolina – PE / Juazeiro – BA*, 14 a 16 de novembro de 2017.

MOREIRA, E. D. S.; GONTIJO NETO, M. M.; LANA, Â. M. Q.; BORGHI, E.; SANTOS, C. A. dos; ALVARENGA, R. C.; VIANA, M. C. M. Eficiência produtiva e atributos agronômicos de milho em sistema integração lavoura-pecuária-floresta. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 53, n.4, abril 2018. DOI: 10.1590/S0100-204X201800040000x

MOREIRA, E. D. S. In: \_\_\_\_\_. Produtividade e Valor nutritivo de *Urochloa brizantha* cv. *Piatã* e Qualidade do Solo em Sistemas Silvipastoris na Região Central de Minas Gerais. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2018. cap. 2, p. 61.

MULLER, M. D.; FERNANDES, E. N.; CASTRO, C. R. T.; PACIULLO, D. S. C.; ALVES, F. de F. Estimativa de acúmulo de biomassa e carbono em sistema agrossilvipastoril na zona da mata mineira. *Pesquisa Florestal Brasileira*, Colombo, n. 60, p. 11-17, dez. 2009 Edição Especial. DOI:104336/2009.pfb.60.11

NAVARRETE, D.; SITCH, S.; ARAGÃO, L. E.; PEDRONI, L. Conversion from forests to pastures in the Colombian Amazon leads to contrasting soil carbon dynamics depending on land management practices. *Glob Chang Biol.*, v. 22, n.10, p.1-16, 2016.

NELSON, D. W.; SOMMERS, L. E. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: SPARKS, D.L.; PAGA, A.L.; HELMKE, P.A.; LOEPPERT, R.H.; SOLTANPOUR, P.N.; TABATABAI, M.A.; JOHNSTON, C.T. & SUMMER, M.E., eds. *Methods of soil analysis: Chemical methods. Part 3*. Madison, Soil Science Society of America, p.961-1010. 1996.

OLIVEIRA, E. S.; REATTO, A.; ROIG, H. L.; Estoques de carbono do solo segundo os componentes da paisagem. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, Brasília, v. 32, n.1/2, p. 71-93, jan./ago. 2015

PACIULLO, D. S. C.; CAMPOS, N. R.; GOMIDE, C. A. M.; CASTRO, C. R. T. DE; TAVELA, R. C. E ROSSIELLO, R. O. P. Crescimento de capim-braquiária influenciado pelo grau de sombreamento e pela estação do ano. *Pesq. agropec. bras., Brasília*, v.43, n.7, p.917-923, jul. 2008. Disponível em:

<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/122114/1/43n07a17.pdf>. Acesso em 15 de novembro de 2017.

PAUL, E.A. & CLARK, F.E. Soil microbiology and biochemistry. 2.ed. San Diego, Academic Press, 1996. 340p

PIGNATARO NETTO, I. T.; KATO, E.; GOEDERT, W. J. Atributos físicos e químicos de um Latossolo Vermelho Amarelo sob pastagens com diferentes históricos de uso. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v.33, p.1441-1448, 2009.

RADOMSKI, M. I.; RIBASKI, J. Produção, conteúdo de nutrientes e estoque de carbono da serapilheira em sistema silvipastoril com corymbia citriodora. In: VII Congresso latino-americano de Sistemas Agroflorestais para a produção Pecuária Sustentável. p. 175-178 ISSN 2235-457X

REID, J. B., GOSS, M. J. Changes in the aggregate stability of a sandy loam effected by growing roots of perennial ryegrass (*Lolium perene*). *Journal of the Science of Foods and Agriculture*, v. 31, n. 02, p. 325-328, 1980.

ROSENDO, DOS S., J.; ROSA, R. Comparação do estoque de c estimado em pastagens e vegetação nativa de cerrado. *Sociedade & Natureza*, v. 24, n.2, p. 359-375, Mayo-Agosto, 2012, Disponible en:<<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=321327329014>> ISSN 0103-1570. Acesso:v 13 de febrero de 2017.

ROSSI, C. Q.; PEREIRA, M. G.; GIÁCOMO, S. G.; BETTA, M.; POLIDORO, J. C. Frações orgânicas e índice de manejo de carbono do solo em Latossolo Vermelho sob plantio de soja no cerrado goiano. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.7, n.2, p.233-241, abr.-jun., 2012. ISSN (on line) 1981-0997 DOI:10.5039/agraria.v7i2a1387

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, BAYER, J.; C.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Teor e dinâmica do carbono no solo em sistemas de integração lavoura- pecuária. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.46, n.10, p.1349-1356, out. 2011.

SANTOS, H. G. dos.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. Á. de.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. de. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3 ed. rev. ampl. Brasília, DF: *Embrapa*, 2013. 353 p.

SILVA, A. R.; SALES, A.; VELOSO, C. A. C. Atributos físicos e disponibilidade de carbono do solo em sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF), Homogêneo e Santa Fé, no estado do Pará, Brasil. *Revista Agrotec*, v. 37, n. 1, p. 96-104, 2016.

SILVA, E. F. da; LOURENTE, E. P. R.; MARCHETTI, M. E.; MERCANTE, F. M.; FERREIRA, A. K. T.; FUJII, G. C. Frações lábeis e recalitrantes da matéria orgânica em solos sob integração lavoura-pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.46, n.10, p.1321-1331, out. 2011.

SOLOMON, D.; FRITZSCHE, F.; LEHMANN, J.; TEKALIGN, M.; ZECH, W. Soil organic matter dynamics in the subhumid agroecosystems of the Ethiopian highlands. *Soil Science Society of America Journal*, v. 66, p. 969-978, 2002. doi:10.2136/sssaj2002.0969

SCHUMACHER, M. V.; CORRÊA, R. S.; VIERA, M.; ARAÚJO, E. F. Produção e decomposição de serapilheira em um povoamento de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus maidenii*. *Cerne*, Lavras, v. 19, n. 3, p. 501-508, 2013.

SCHMIDT, D.; CARON, B. O.; PILAU, J.; NARDINO, M.; ELLI, E. F. Morfoanatomia foliar de azevém no sub-bosque de espécies arbóreas em sistemas agroflorestais. *Rev. Ceres*, Viçosa, v. 64, n.4, p. 368-375, jul/ago, 2017.

TISDALL, J.M., OADES, L.M. Organic matter and water-stable aggregates in soil. *Journal of Soil Science*, v.33, p.141-163, 1982.

TOLEDO, M; JA GALANTINI; H DALURZO; S VAZQUEZ & G BOLLERO. Methods for Assessing the Effects of Land Use Changes on Carbon Stocks of Subtropical Oxisols. *Soil Science Society of America Journal*, v.77, p. 1542-1552, 2013. doi:10.2136/sssaj2013.03.0087.

TONUCCI R.G., NAIR P.K.R., NAIR V.D., GARCIA R.; BERNARDINO F.S., 2011. Soil carbon storage in silvopasture and related land-use systems in the Brazilian Cerrado. *Journal of Environmental Quality*, v. 40, p. 833–841. DOI: 10.2134/jeq2010.0162

VELDKAMP, E.1994. Organic carbon turnover in three tropical soils under pasture after deforestation. *Soil Science Society of America Journal*, 58: 175-180. doi: 10.2136/sssaj1994.03615995005800010025x.

ZORNOZA, R.; COSTA, J. Á. A.; BASTIDA, F.; DOMÍNGUEZ, S. G.; TOLEDO, D. M.; FAZ, A. Identification of sensitive indicators to assess the interrelationship between soil quality, management practices and human health. *Soil*: v.1, p. 173-185, 2015. www.soil-journal.net/1/173/2015/ doi:10.5194/soil-1-173-2015.

## CAPÍTULO 4

### ALTERAÇÕES NA QUALIDADE BIOLÓGICA DO SOLO EM SISTEMAS SILVIPASTORIS NA REGIÃO CENTRAL DE MINAS GERAIS

**Resumo** – A qualidade do solo constitui componente chave para a sustentabilidade de agroecossistema. Neste trabalho, objetivou-se estimar os impactos de sistemas silvipastoris sobre a qualidade biológica de Latossolo Vermelho Distrófico sob diferentes sistemas agrossilvipastoris. Avaliaram-se os seguintes tratamentos, em delineamento inteiramente casualizado em arranjo em Split plot e três repetições: quatro sistemas silvipastoris (SSP) constituídos de componente arbóreo (cultivar de um híbrido de eucalipto, GG 100 (*Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*) consorciado com pastagem (*Urocloa brizantha* cv. Piatã), sendo dois implantados em 2009, (SSP1) com 333 árvores ha<sup>-1</sup> e (SSP2) com 166 árvores ha<sup>-1</sup>; e outros dois implantados em 2011, (SSP3) com 333 árvores ha<sup>-1</sup> e (SSP4) com 166 árvores ha<sup>-1</sup>; duas pastagens a sol pleno (PS) (PS1 e PS2) e uma área de vegetação nativa (VN) como referência. As alterações na qualidade biológica foram analisadas através dos parâmetros microbiológicos: população microbiana (fungo e bactéria), atividade das enzimas urease (UR), arginase (AR), fosfatase ácida (FAC) e alcalina (FAL) e respiração basal do solo (RBS), em duas profundidades 0-5 e 60-100 cm e quatro distâncias do renque de eucalipto (D1=0,5; D2=1,25; D3=3,0 e D4=7,0 m). A diversidade metabólica via sistema Biolog (índice de shannon-H, riqueza de substrato-S, atividade total-AT) e a diversidade genética da população de bactérias e fungos via DGGE foram determinadas na camada 0-5 cm e duas distâncias (D1 e D4). Constatou-se que, independente da época de implantação dos sistemas e distância em relação ao eucalipto, as atividades enzimáticas foram superiores na camada superficial do solo ( $p < 0,05$ ). Quando se comparou os sistemas, somente a atividade UR e RBS foi afetada significativamente ( $p < 0,05$ ), independente da profundidade. Para a enzima UR os sistemas SSP1 e SSP2 apresentaram valores superiores em relação à pastagem PS2, os demais não diferindo entre si. Os SSPs apresentaram valores elevados de RBS similares ao solo sob cerrado e superiores às pastagens. Em relação à população de microrganismos e relação F/B, somente a população de bactérias foi influenciada pelos ambientes avaliados, sendo superior sob a PS2. A diversidade metabólica foi melhor expressada em termos dos parâmetros AT e H, que revelaram diferenças significativas entre os ambientes. O H foi superior sob SSP1, SSP2 e PS1 maiores que SSP3, sem diferir dos demais. Independente dos parâmetros microbiológicos avaliados, não se observou influência das distâncias a partir do renque de eucalipto sob a qualidade biológica do solo ( $p < 0,05$ ). A estrutura genética da comunidade fúngica e bacteriana foi alterada nos SSPs, com maior variabilidade espacial e menor influência dos sistemas observada na comunidade fúngica. Conclui-se que os sistemas silvipastoris de maior idade e pastagem a pleno sol apresentaram melhorias na qualidade biológica do solo.

**Palavras chaves:** capim-Piatã, eucalipto, sistemas integrados, enzimas, qualidade do solo.



## Introdução

O solo é um sistema que possui suas próprias características físicas, químicas e biológicas nos quais controlam a dinâmica do agroecossistema e podem ser alterados por intervenções antrópicas e mudanças climáticas (Agnelli et al., 2004). Atualmente, torna-se necessário associar a produtividade à competitividade e impactos socioambientais da atividade antrópica buscando a conservação de recursos naturais. Neste contexto, os sistemas de integração lavoura pecuária e floresta (ILPF) têm sido incorporados de forma crescente no sistema produtivo brasileiro como alternativa viável, pois contribui para recuperação de pastagens degradadas e na adoção de boas práticas agropecuárias (Silva et al., 2016).

Dentre os benefícios conferidos aos sistemas silvipastoris, tem-se o aumento da fertilidade e a conservação do solo, o aumento da qualidade da forragem, a melhoria do conforto térmico para os animais, a diversificação e o aumento de renda (Paciullo et al., 2014).

Os sistemas produtivos, com uso intensivo do solo, podem promover alterações nos ecossistemas em várias escalas, que afetam a estrutura trófica da comunidade biológica (Oliveira et al., 2015; Pezarico et al., 2013), além de alterações nos atributos químicos (Flores et al., 2008; Iwata et al., 2012), e físicos do solo (Carneiro et al., 2009), decorrentes de efeitos sinérgicos das interações entre os componentes bióticos e abióticos presentes nestes sistemas.

Em relação aos atributos biológicos, a estrutura e função da microbiota do solo são consideradas bioindicadores importantes da sustentabilidade de agroecossistemas, pois basicamente, os microrganismos no solo apresentam funções de estar associados à ciclagem de nutrientes, agregação e formação da fertilidade e biorremediação. Além desses bioindicadores constituem ferramenta útil para inferir sobre a condição, qualidade e saúde do solo (Doran et al., 1996; Doran; Parkin, 1994). A qualidade biológica do solo está relacionada à sustentabilidade e estabilidade de agroecossistemas (Doran; Parkin, 1994).

Vários indicadores microbiológicos têm sido apresentados na literatura para o monitoramento de impactos de diferentes sistemas de manejo e uso do solo, mas pouco se sabe sobre este manejo em sistemas integrados com relação às condições edáfica e quanto à qualidade do solo.

A respiração basal do solo (C prontamente mineralizável) se baseia na produção de CO<sub>2</sub> pelos microrganismos via degradação da matéria orgânica, constitui uma técnica frequentemente empregada para quantificar a atividade microbiana, em razão de sua sensibilidade para responder rapidamente às alterações nas condições ambientais (De - Polli; Pimentel, 2005).

As enzimas envolvidas na dinâmica de nitrogênio (arginase e urease) e de fósforo (fosfatase ácida e alcalina) no ambiente destacam-se principalmente pelo sua precisão, sensibilidade e custo de análises (Peixoto et al., 2010). De modo geral, as determinações enzimáticas no solo são mensuradas em termos de atividades e não de quantidade, por causa da sua baixa concentração (Lisboa et al., 2012), sendo avaliada através da quantificação do produto gerado após adicionar um substrato específico para cada enzima.

Stieven et al. (2014) verificaram que as atividades enzimáticas do solo sob sistema ILPF mantiveram-se estáveis entre os períodos seco e chuvosos, e o sistema integrado apresentou valores superiores aos demais sistemas de rotação e floresta nativa, com impactos positivos na microbiota do solo.

Outro parâmetro importante para o estudo de prospecção de condições biológicas no solo sob atividade agrícola, é a diversidade metabólica ou *fingerprint* metabólico que se baseia no padrão de utilização de substratos das comunidades microbianas ali presentes, que gera o perfil específico em cada amostra (Zak et al., 1994).

Atualmente técnicas moleculares tem possibilitado avanços na diversidade, estrutura e abundância das comunidades microbianas bem como a dinâmica e interação entre diversos níveis populacionais dos microrganismos que interferem nos processos ambientais.

A estratégia comumente utilizada é através do DNA ribossomal amplificado pela técnica (PCR) via de Denaturing Gradient Gel Electrophoresis (DGGE) para estudos de diversidade bacteriana total, independente de cultivo em meio artificial (Muzier et al., 1993).

Assim, parâmetros microbiológicos têm revelado sensibilidade para monitoramento de impactos de sistemas de manejo e uso sobre qualidade do solo (Ferreira et al., 2017; Pezarico et al. 2013).

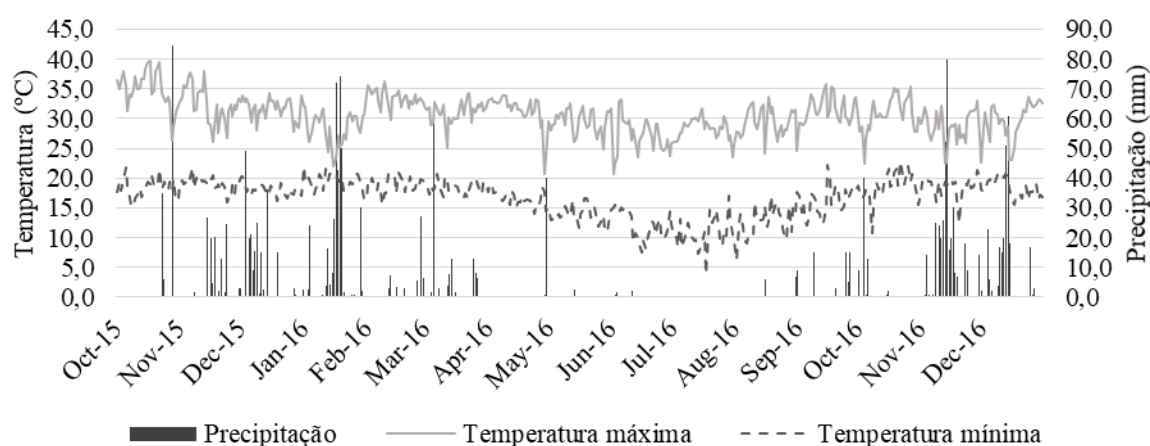
Objetivou-se avaliar as alterações na qualidade biológica do solo, por meio de indicadores biológicos, em razão da conversão da floresta semidecidual de transição para cerrado em sistemas silvipastoris e pastagens a pleno sol, com diferentes anos de implantação e densidade arbóreas.

## **Material e Métodos**

### ***Caracterização da área experimental***

O experimento foi conduzido na área experimental da Embrapa Milho e Sorgo na cidade de Sete Lagoas, MG (latitude de 19° 29'11" S e longitude de 44° 10' 77' 'W e altitude de 708 m).

O clima da região é do tipo Aw (Tropical chuvoso), de acordo com a classificação de Köppen, com estação seca bem definida no inverno de maio a setembro e chuvas concentradas no verão de outubro a abril. Na figura 1, estão apresentados dados climáticos em outubro de 2015 a dezembro de 2016, em que a precipitação total foi de 1.791,7 mm. (Figura 1). A média anual da precipitação pluviométrica entre os anos 1930 e 2010 é 1.362,9 mm ano<sup>-1</sup> e temperatura média é 20,9 °C e mais de 50% das chuvas da região concentram-se no verão (Ferreira et al., 2011).



**Figura 1.** Valores médios mensais de temperatura máxima T máx (°C) e mínima T mín (°C) e precipitação pluviométrica (mm), durante o período experimental nos anos 2015, e 2016, em Sete Lagoas, MG  
Fonte: CNPMS/Embrapa; INMET

O solo foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico (LVd), textura argilosa de acordo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos et al., 2013). A caracterização química do solo na área foi realizada a 0-20 cm do solo, em março de 2016 (Tabela 1). A vegetação nativa foi classificada por Costa et al. (2015) por Floresta Estacional Semidecidual de transição para Cerrado (VN).

**Tabela 1 -** Caracterização química solo da área experimental na profundidade de 0-20 cm, Sete Lagoas, MG, 2016

Amb.**	Teores de nutrientes*											
	pH <sup>1</sup>	M.O <sup>5</sup>	H+A	Al <sup>+</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Ca <sup>+2</sup>	SB	CTC	K <sup>4</sup>	P <sup>4</sup>	V	m
		dag <sup>-1</sup> Kg		----- cmolc <sup>-1</sup> cm <sup>-3</sup> -----					---g <sup>-1</sup> dm---		-----%-----	
SSP1	5,53	5,30	8,40	0,78	0,42	2,24	2,78	11,18	48,57	9,11	23,65	29,24
SSP2	5,29	4,53	9,07	0,97	0,29	1,42	1,78	10,84	25,26	7,34	15,30	42,50
SSP3	5,44	4,01	7,50	0,37	0,49	3,37	4,02	11,53	63,57	12,27	33,78	11,21
SSP4	5,53	4,14	7,92	0,89	0,55	2,89	3,55	11,47	42,78	5,49	29,48	25,76
PS1	5,82	4,91	7,91	0,76	0,23	2,38	2,64	10,55	11,20	9,32	26,05	26,36
PS2	5,72	4,93	6,86	0,48	0,16	2,35	2,53	9,39	9,65	2,63	27,48	17,78
VN	5,38	3,82	7,49	0,93	0,12	1,52	1,71	9,20	27,07	10,79	17,25	45,77

\*Análises realizadas conforme Embrapa (1997). <sup>1</sup>pH- potencial hidrogeniônico em H<sub>2</sub>O; MO – Matéria orgânica do solo pelo Método Walkley e Black H+A – acidez ativa, Extrator Ca (OAc)<sub>2</sub> 0,5 mol pH 7,0; Al – alumínio, Extrator KCl 1 mol L<sup>-1</sup>; Mg – magnésio; Ca – cálcio ; SB – soma de bases; CTC – capacidade de troca catiônica; K – potássio ; P – fósforo, Extrator Mehlich-1 ; V – saturação de bases; m – saturação de alumínio; \*\*Sistemas: silvipastoris (SSP): implantado em 2009 com 333 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP1), em 2009 com 166 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP2), em 2011 com 333 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP3) e em 2011 com 166 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP4); pastagens à pleno sol (PS).

### **Tratamentos e delineamento experimental**

Os tratamentos avaliados foram compostos por sete ambientes: quatro sistemas silvipastoris (SSP) constituídos de componente arbóreo (cultivar de eucalipto, GG 100 (*Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*) consorciado com pastagem (*Urochloa brizantha* cv. Piatã), sendo dois implantados em 2009: (SSP1) com 333 árvores ha<sup>-1</sup> e (SSP2) com 166 árvores ha<sup>-1</sup>; e outros dois implantados em 2011: (SSP3) com 333 árvores ha<sup>-1</sup> e (SSP4) com 166 árvores ha<sup>-1</sup>; duas áreas adjacentes com pastagens a sol pleno, implantada em 2009 (PS1) e a outra em 2011 (PS2) e uma área de vegetação nativa (VN) com Floresta Estacional Semidecidual de transição para Cerrado, como referência, conforme se observa na figura 2.



**Figura 2.** Área experimental com os sete ambientes avaliados: sistemas silvipastoris implantado em 2009 com 333 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP1), em 2009 com 166 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP2), em 2011 com 333 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP3) e em 2011 com 166 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP4) e pastagens a pleno sol: implantada em 2009 (PS1) e implantada em 2011 (PS2) e vegetação nativa: Floresta Estacional Semidecidual de transição para cerrado (VN)

Fonte: maps/google.com.br

Nos anos de plantio dos sistemas consorciados, em 2009 e 2011, os três primeiros ciclos agrícolas nas faixas entre os renques de *Eucalyptus* spp., foi realizada a semeadura simultânea em sistema de plantio direto do milho (AG 8088 VT PRO) consorciado com capim braquiária (*Urochloa brizantha* cv. Piatã) em espaçamentos de 0,70 m entre linhas, respeitando-se uma distância de 1 metro entre a primeira linha de semeadura do milho/braquiária dos renques de eucalipto, conforme Moreira *et al.* 2018 (no prelo). Após a colheita do milho, no terceiro ano, permaneceu a pastagem em sistema silvipastoril (SPP) até o presente momento.

Em 2009 e em 2011, a adubação de plantio do eucalipto foi no sulco de 200 kg ha<sup>-1</sup> de superfosfato simples, mais 120 g planta<sup>-1</sup> da formulação NPK 06-30-06 com 0,5% B e 1,5% Zn, metade em cada lado da cova, a uma distância de 15 a 20 cm da muda. Na semana

seguinte ao plantio foi realizada uma adubação de cobertura na projeção da copa com 120 g planta<sup>-1</sup> de NPK 20-00-20 e uma com 200 g planta<sup>-1</sup> em novembro de 2012 e em fevereiro de 2013 aplicou-se 15 g planta<sup>-1</sup> de ácido bórico na projeção da copa de cada árvore.

A adubação de semeadura do milho, nas três safras, consistiu de 400 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula NPK 08-28-16 e quando o milho atingiu o estágio fenológico V6-V7 foi realizada a adubação de cobertura com 250 kg ha<sup>-1</sup> de ureia (Souza & Lobato, 2004).

Foi adotado o delineamento inteiramente ao acaso em arranjo em Split plot 7 x 2 com três repetições, para comparação dos sete ambientes na parcela e duas profundidades na subparcela.

### ***Coleta de amostras e análises de atributos biológicos do solo***

Em março de 2016, foram coletadas as amostras para análises dos atributos biológicos em duas profundidades (0-5 cm e 60-100 cm) em trincheiras (0,80 x 7,5 x 1,2 m), em quatro distâncias a partir da linha de eucalipto (0,5; 1,25; 3,0 e 7 m), exceto quando mencionado. Nas áreas com vegetação de mata nativa e pastagens a pleno sol, as amostragens foram efetuadas em trincheiras na mesma dimensão e profundidades, em três pontos amostrais das faces da trincheira, constituindo as três repetições.

As amostras deformadas coletadas foram acondicionadas em sacos plásticos e levadas para o laboratório e peneiradas em peneira com malha de 2 mm. Em seguida, as amostras foram submetidas às análises microbiológicas apresentadas a seguir.

### **Atividade respiratória do solo**

A determinação da taxa de respiração do solo foi efetuada de forma indireta, por meio da determinação do CO<sub>2</sub> evoluído, conforme método descrito por Alef; Nannipieri (1995). A liberação de CO<sub>2</sub> foi estimada e avaliada em frascos de vidro de 1,5 mL contendo 50 g de solo, bem como um béquer com 20 mL de NaOH 0,5 mol L<sup>-1</sup>. Os frascos foram hermeticamente fechados, e incubados por 48 horas, no escuro e a temperatura ambiente (28 °C). Após este período, a solução de NaOH foi tratada com 1 mL da solução de BaCl<sub>2</sub> 50% e três gotas do indicador fenolftaleína 1%. O NaOH não reativo foi titulado com HCl 0,5 mol L<sup>-1</sup>. A partir do volume de HCl consumido, estimou-se a quantidade de C-CO<sub>2</sub> liberada, expressa em ug C-CO<sub>2</sub> h<sup>-1</sup> kg<sup>-1</sup> de solo, de acordo com seguinte expressão. Com os resultados das titulações, e determinou-se a RBS, seguindo o estimador:

$$RBS = ((Vb - Va) \cdot N \cdot 22) / Ps \cdot T$$

Onde: RMS = respiração basal do solo em mg C g<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>; Vb (mL) = volume de HCl gasto na titulação da solução controle (branco); Va (mL) = volume de HCl gasto na titulação da amostra; Ps (g) = massa do solo seco; C = normalidade da NaOH; 22 = equivalente – grama do CO<sub>2</sub>; e T = tempo de incubação da amostra em horas.

### **Atividade das enzimas uréase, arginase e fosfatases**

Para analisar a atividade da enzima arginase utilizou-se o método preconizado por Alef e Kleneir (1986). Resumidamente, 1,0 g de solo de cada amostra foram inoculados, em tubos

Falcon de 15 mL, com 0,25 mL de solução de arginina por duas horas a 37°C. Após esse período, foi acrescido aos tubos quatro mL de KCl (1M), agitando-se por 30 minutos e, em seguida, centrifugando-se a 4.000 rpm por 10 minutos. Foram alíquotadas 100 µl do sobrenadante de cada amostra e misturada a 1µl das soluções para colorimetria. Após 2 horas de repouso das amostras, realizou-se a leitura no espectrofotômetro a 660 nm. Realizou-se a curva de calibração obtida com padrões com cloreto de amônio nos níveis de 0,5, 10, 15 e 20 µg de NH<sub>4</sub>-N mL<sup>-1</sup>.

A atividade da enzima urease, foi realizada conforme a metodologia descrita por Kandeler; Gerber (1988). Amostra de 0,5 g de solo foi incubada com 0,25 mL de solução de ureia (4,8 g<sup>-1</sup>) por uma hora a 37 °C em tubos de centrífuga de 15 mL. Após esse período, as amostras foi acrescido 5 mL de solução de HCl 1N e KCl 1M, agitadas durante 30 minutos e centrifugadas por 10 minutos a 4.000 rpm. Alíquota de 100 µl do sobrenadante de cada amostra e misturada a 1µl das soluções para colorimetria. Após 1 hora de incubação realizou-se a leitura no espectrofotômetro a 660 nm. As concentrações de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> foram estimadas a partir da curva padrão com cloreto de amônio nos níveis de 0,5, 10, 15 e 20 µg de NH<sub>4</sub>-N mL<sup>-1</sup>.

A determinação da atividade das fosfatases ácida e alcalina foi efetuada segundo o método Tabatabai et al. (1994). Amostra de 0,150 g de solo foram pesadas e adicionadas 0,48 mL de solução tampão acetato com pH ajustado para 6,5 e 11 para fosfatase ácida e alcalina, respectivamente. Posteriormente, cada amostra foi tratada com 0,12 mL de substrato p-nitrofenil fosfato sódio (PNP) 0,05M e incubada a 37 °C por uma hora. Antes da centrifugação a 800 rpm por 5 minutos. Foram adicionados 0,12 mL da solução de CaCl<sub>2</sub> 0,5 mol L<sup>-1</sup> e 0,48 mL de NaOH 1M. A leitura colorimétrica foi feita a 400 nm. Os resultados foram expressos em µg pNP<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> g<sup>-1</sup> solo com base em uma curva padrão com as concentrações de 0, 2,5, 5, 7,5 e 10 µg pNP ml<sup>-1</sup>.

### **População da fungos e bactérias do solo**

A contagem da população total de fungos e bactérias foi realizada a partir da diluição seriada decimais das amostras de solo (Hungria; Araújo, 1994). Utilizou-se o meio BDA (batata, dextrose, ágar) com antibiótico (150 µg mL<sup>-1</sup> de cetoconazol) para enumeração de bactérias e o Martin's-Bengala Agar (Martin, 1950) adicionando 150 µg mL<sup>-1</sup> de ampicilina e 100 µg mL<sup>-1</sup> de tetraciclina, para fungos. As placas foram incubadas a 28 °C por 5 dias. Após este período efetuou-se a contagem das colônias de cada grupo funcional. Os resultados foram expressos em unidades formadoras de colônias por grama de solo (UFC g<sup>-1</sup> solo).

### **Diversidade metabólica da comunidade microbiana do solo**

Para a avaliação da diversidade metabólica (sistema Biolog), utilizou-se a metodologia preconizada por Zak et al., 1994, em microplaca ECOPLATE® (Biolog, Inc. HAYWARD; A; USA) que contem 31 fontes de carbono, incluindo álcoois, compostos poliméricos, açúcares, ácidos orgânicos e aminoácidos C incluindo álcoois, compostos poliméricos, açúcares, ácidos orgânicos e aminoácidos, além do controle, sem fonte de carbono, com três repetições.

Cada amostra de 2,5 g de solo, coletada na profundidade 0,5 cm foi diluída a  $10^{-2}$  em solução salina (NaCl, 0,85%) e filtrada em papel Whatman n°2. Alíquota de 120 µl de cada amostra foi transferida para cada cavidade da microplaca e incubada no escuro, à temperatura ambiente (em torno de 28 °C). Após 72, 96 e 120 horas de incubação, efetuou-se a leitura de absorbância a 590 nm, utilizando-se leitor de placa Elisa (Labstems, MultSkán, MS). Com base nas leituras estimaram-se os componentes da diversidade funcional, atividade total (AT), índice de desenvolvimento de cor (AWCD), índice de Shannon (H), riqueza de substratos (S), equidade (E) (Garland & Mills, 1991).

A diversidade metabólica foi avaliada, na profundidade de 0-5 cm e adotou-se o esquema em parcelas subdivididas 7 x 2 sendo setes ambientes, duas distâncias a partir do eucalipto (0,5 e 7 m). As estimativas de valores médios das distâncias, nos sistemas silvipastoris, foram utilizadas para comparação aos valores das áreas controles. Para comparação das médias foram utilizados o teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizaram-se as médias de distâncias no caso de SSP.

### **Diversidade molecular da população de bactérias e fungos do solo**

#### *Extração de DNA total do solo*

As estruturas das comunidades totais de bactéria e de fúngicas do solo foram estudadas pelas abordagens rDNA-DGGE, 16S e 18S, respectivamente. O DNA da comunidade total foi extraído diretamente de 0,5 g de amostra utilizando um Kit comercial FastDNA SPIN Kit para solo (sistema Bio 101 Inc., EUA), de acordo com fabricante. As concentrações de DNA foram determinadas espectrofotometricamente utilizando um aparelho ND-1000 UV/VIS (NanoDrop Technologies, EUA). O DNA foi visualizados em géis de agarose a 0,8% (p / v) (Sambrook et al., 1989) para avaliar pureza e tamanho molecular.

#### *Amplificação via PCR*

Para a amplificação por PCR foram utilizados iniciadores universais para bactérias da região ribossomal 16S (F968CG e R1401) com uma sequência “clamp” de CG na extremidade 5’ dos iniciadores forward. Para fungos foi utilizado os primers universais NS1 e EF3 (10 µm).

A reação de PCR (16S) para bactérias, foi constituída de 50 µL, contendo 5 µL de Tampão Taq 10X (Invitrogen), 2,0 µL de tampão de magnésio, 2,0 µL de dNTP (10mM), 2 µL do “primer” F968-CG (5mM), 2 µL do “primer” R1401 (5mM), 0,5 µL de Formamida deionizada, 0,2 µL Taq polymerase, 29,3 µL de água ultra pura esterilizada e 5 µL do DNA. O ciclo de PCR incluiu: pré-aquecimento 95 °C por 2 minutos, seguido de 40 ciclos de 94 °C por 30 segundos, 55 °C por 30 segundos e 72 °C por 1 minutos, com uma extensão final de 5 minutos a 72 °C e a 10 °C.

A reação de PCR para fungos seguiu duas etapas: A primeira etapa foi constituída de 25 µL, contendo 2,5 µL de Tampão Taq 10X, 1,5 µL de tampão de magnésio (25 mM Invitrogen), 1,0 µL de dNTP (10 mM), 0,5 µL do “primer” NS1 (10 mM), 0,5 µL do “primer” EF3 (10 mM), 0,2 µL Taq polymerase, 15,8 µL de água ultra pura esterilizada e 5 µL do

DNA. O ciclo de PCR de fungos incluiu: pré-aquecimento 95 °C por 4 minutos, seguido de 35 ciclos de 94 °C por 30 segundos, 47 °C por 30 segundos e 72 °C por 1 minutos, com uma extensão final de 5 minutos a 72 °C e α a 10 °C.

A segunda etapa foi composta por 50 µL, contendo 5,0 µL de Tampão Taq 10X, 2,0 µL de tampão de magnésio (25 mM Invitrogen), 2,0 µL de dNTP (10mM), 1,5 µL do “primer” FF390 (10mM), 1,5 µL do “primer” F RICG (10mM), 0,3 µL Taq polymerase (Kapa), 34,7 µL de água ultra pura esterilizada e 2 µL do PCR1. O ciclo de PCR de fungos incluiu: pré-aquecimento 95 °C por 4 minutos, seguido de 35 ciclos de 94 °C por 30 segundos, 50 °C por 30 segundos e 72 °C por 45 segundos, com uma extensão final de 5 minutos a 72 °C e α a 10 °C.

#### *Eletroforese com gradiente de gel desnaturante de bactérias e fungos (DGGE)*

A diversidade da população total de bactérias e fungos foi analisada via eletroforese em gel de gradiente (DGGE) (PCR-DGGE, Muyzer et al., 1993), em uma unidade de DGGE da Biorad (Richmond, USA). Os produtos de PCR de bactérias foram aplicados em gel de agarose contendo 1,5% de poliacrilamida, com gradiente de desnaturantes de 40 a 65% e acrescentou-se 60 µL de APS e 35 mL de TEMED. Para fungos foram aplicados em gel de agarose contendo 1,5% de poliacrilamida, com gradiente de desnaturantes de 35 a 55%. Em que acrescentou 100 µL de APS e 45 mL de TEMED. As condições de eletroforese foram de 16h a 60 °C e 70V em tampão TAE 1X. Após a eletroforese o gel foi corado com prata e fotografado em câmera digital para a análise do perfil de bandas (KozdrKoj, 2001; Muyzer et al., 1993).

#### **Análises estatísticas**

Na análise para avaliar os sete ambientes, independente de distâncias, os dados obtidos foram submetidos aos testes de Lilliefors e Bartlett para verificação de distribuição da normalidade e homocedasticidade, respectivamente. Realizou-se a análise de variância e para efeito de comparação de médias das respostas utilizou-se o teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

A comparação dos perfis das comunidades após o DGGE foi realizada com a obtenção dos padrões de bandas para a construção de dendogramas (coeficiente de similaridade), utilizando-se programa BioNumerics, versão 6.1 (Applied Maths, Sint Martens Latem, Bélgica) com o método JACCARD, posteriormente a partir de uma matriz de similaridade foi construído o dendograma pelo método UPGMA (unweighted pair-group with mathematical average), com tolerância de posição 3%.

### **Resultados e Discussão**

A qualidade biológica do solo está relacionada à sustentabilidade e estabilidade de agroecossistemas (Doran; Parkin, 1994). Neste estudo, os resultados observados para atividade microbiana do solo de um Latossolo vermelho distrófico, medida através das enzimas uréase (UR), arginase fosfatase ácida (FALC) e alcalina (FALC) e respiração do solo



(RBS) sob seis sistemas de cultivo envolvendo pastagem em monocultivo e sistemas silvipastoris, além da vegetação nativa, estão apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2** – Atividade da fosfatase ácida (FAC), fosfatase alcalina (FAL), urease (UR), aginase (AR) e a respiração basal do solo (RBS) em setes ambientes independente da profundidade

Ambientes	Atividades enzimáticas				RBS mg C-CO <sub>2</sub> h <sup>-1</sup> kg <sup>-1</sup> solo
	FÁC ----mg NP h <sup>-1</sup> g <sup>-1</sup> --	FAL	UR -----µg N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> g <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ---	AR	
SSP 1	7,45 A*	2,77 A	293,05 A	16,56 A	25,12 A
SSP 2	7,41 A	2,11 A	293,81 A	13,62 A	24,62 A
SSP 3	6,50 A	2,13 A	173,09 AB	12,99 A	21,19 A
SSP4	6,53 A	2,39 A	185,32 AB	17,14 A	22,49 A
PS1	6,52 A	3,09 A	248,13 AB	13,17 A	12,57 B
PS2	5,43 A	1,64 A	145,03 B	13,75 A	13,68 B
VN	9,08 A	2,61 A	226,77 AB	16,60 A	28,29 A
CV(%)	30,44	33,49	29,00	47,95	6,56

\*Médias seguidas de letras distintas na coluna, diferem pelo teste Tukey (p<0,05) \*Ambientes: sistemas silvipastoris implantado em 2009 com 333 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP1), em 2009 com 166 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP2), em 2011 com 333 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP3) e em 2011 com 166 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP4) e pastagens à pleno sol: implantada em 2009 (PS1) e implantada em 2011 (PS2) e vegetação nativa (VN).

Observou-se que para UR e RBS que há diferenças significativas (p<0,05) quanto aos ambientes avaliados, não sendo constatados para AR, FAC e FAL. Não foi observado significância para a interação para sistemas x profundidades (p>0,05) em relação a esses parâmetros avaliados.

A UR foi superior somente nos sistemas integrados implantados há sete anos (SSP1 e SSP2) quando comparados com os valores observados para pastagem à pleno sol estabelecido com 5 anos (PS2), embora não tenham diferido dos demais tratamentos, incluindo a vegetação natural, considerada como referência (Tabela 2).

A enzima UR está envolvida na capacidade de ciclagem e disponibilidade de nitrogênio para às plantas ao catalisar a reação de hidrólise da molécula de ureia (Balota 2014; Sousa 2014). Assim, os maiores valores nos sistemas silvipastoris podem ser em função da inserção do componente arbóreo a mais tempo estabelecido, que promovem à disponibilidade de nutrientes com raízes mais profundas no solo, beneficiando as pastagens no sistema, e proporcionam: estruturação do solo, ciclagem de nutrientes, estoque de carbono em profundidade, favorece a atividade microbiana e da fauna do solo, permitindo boa aeração e permeabilidade (Young, 1994; Gatto et al., 2010).

Os valores similares de UR entre os solos dos SSPs e vegetação nativa podem ser explicados pelos fatores: ao grau de estabilidade destes ecossistemas, como confirma o relato de Roscoe; Machado, (2002). Esses resultados indicam que estes sistemas integrados favoreceram a melhoria da qualidade do solo em relação à Floresta Semidecidual em transição para cerrado.

Vale considerar que o efeito do eucalipto no sistema depende da espécie e embora, em plantios de eucalipto, a presença de substâncias com atividade antimicrobiana encontradas na serapilheira podem prejudicar a sobrevivência e o crescimento dos diferentes grupos de microrganismos do solo (Alvarenga et al., 1999).

Os valores para UR variaram de 293,81 a 145,03  $\mu\text{g N-NH}_4^+ \text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$ , sendo valor inferior encontrado na pastagem há cinco anos implantada (PS2). Em trabalho de Garcia e Nahas (2007) em pastos com alta taxa de lotação (5 animais  $\text{ha}^{-1}$ ) verificaram o potencial de mineralização do N que pode estar sendo afetado pela disponibilidade deste elemento, e a atividade urease variaram de 63,0 a 1.550,8  $\mu\text{g g}^{-1}$  de  $\text{NH}_4\text{-N}$  no solo seco. O N é um nutriente limitante da produção agrícola, e a redução da atividade enzimática pode indicar efeito deletério no crescimento da pastagem (Arunachalam et al., 1999).

A diversidade de cobertura vegetal interferiu na atividade enzimática UR, e os SSPs avaliados e pastagem com maior tempo de maturidade (PS1) se assemelharam à condição natural da vegetação nativa. Contrário aos resultados obtidos, Simão et al. (2012), em estudo na mesma região, avaliaram a atividade de UR e AR no solo sob as culturas dos sistemas: milho solteiro em monocultivo; Santa-Fé (Milho consorciado com *Urochloa brizantha* cv. Piatã) em monocultivo; soja em monocultivo; pastagem de capim Piatã em monocultivo e solo de cerrado, áreas amostradas na linha e entrelinha de semeadura, a 0-10 cm profundidade, e verificaram que não houve diferença significativa para as diferentes explorações agrícolas.

Em relação aos bioindicadores de ciclagem de nutrientes avaliados, UR e AR, atividade desta enzima não houve diferença nos solos entre os sete ambientes avaliados ( $p > 0,05$ ), com valor médio AR de 14,83  $\mu\text{g N-NH}_4^+ \text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$ . A atividade da enzima UR torna-se importante por ser extracelular e responsável pela hidrólise da ureia em  $\text{CO}_2$  e amônia. Por outro lado, a atividade da AR depende de células microbianas metabolicamente ativas e relaciona-se com N potencialmente mineralizável no solo, por medir a taxa de ocorrência da amonificação. Assim seu substrato, a arginina, é rico em grupos amina e vastamente utilizado pela biomassa microbiana do solo, apresenta função também de estimar a atividade microbiana global (Alef; Kleiner 1987; Bonde et al. 2001).

É possível que a atividade da AR, enzima intracelular que depende dos microrganismos naquele momento da coleta, seja mais sensível ao estresse hídrico do solo. Conforme a figura 1 houve um período próximo à coleta do solo em que se cessou as precipitações, o que pode ter propiciado a paralisação da atividade de AR nos solos avaliados.

A semelhança do observado para a atividade UR, houve diferença significativa na RBS ( $p < 0,05$ ) em função de ambientes, com valores oscilando entre 12,57 a 28,29  $\text{mg C-CO}_2 \text{h}^{-1} \text{kg}^{-1}$  solo.

Os SSPs e a vegetação nativa apresentaram maior emissão de  $\text{C-CO}_2$  em relação às pastagens em a pleno sol (PS1 e PS2), cujo valor médio das pastagens 13,12  $\text{mg C-CO}_2 \text{h}^{-1} \text{kg}^{-1}$ . A pastagem a pleno solo limitou o desenvolvimento e atividade microbiana no solo, como evidenciado nestes resultados, com decréscimo das atividades microbianas pela RBS e UR (Tabela 2).

A RBS indica a produção de  $\text{CO}_2$  no solo e apresentou maior atividade respiratória em solos sob SSPs e vegetação nativa. Estes resultados estão associados ao aporte contínuo e

variado de substrato orgânico, com diferentes graus de suscetibilidade à decomposição, provenientes de vegetação com maior diversidade de espécies como na vegetação natural e sistemas silvipastoris (Gama-Rodrigues et al., 2008). Além do que, nestes sistemas apresentam grande quantidade de raízes e podem reter água no solo. A atividade microbiana é favorecida propiciando uma tendência de maior liberação de C-CO<sub>2</sub> nestes ambientes com presença de árvores e podem indicar, em curto prazo, a maior liberação de nutrientes para as plantas.

Os solos sob sistemas silvipastoris e vegetação nativa apresentaram altas taxas respiratórias, o que pode ser em razão também do maior acúmulo de matéria orgânica no solo sob essa cobertura vegetal, e nestes solos antropizados há ainda a contribuição da matéria orgânica de origem animal.

Altos valores da taxa de RBS, em sistemas com pastagens solteira e consorciada com eucalipto foram relatados por Assis Junior et al. (2003). Esse autor atribui esse aumento ao acúmulo da quantidade de biomassa microbiana acumulada na serapilheira sob essas coberturas vegetais.

Os sistemas silvipastoris avaliados apresentam um histórico de três ciclos de cultivo com lavoura de milho. A biodiversidade de espécies em um sistema favorece a atividade microbiana, além de que a inclusão de componentes arbóreos pode manter ou aumentar a produtividade de determinado local. Segundo Young (1994) nestes sistemas integrados existem processos que aumentam a entrada ou reduzem perdas no solo, como matéria orgânica, nutrientes e água, além de melhorias das propriedades do solo e benefícios de processos microbiológicos deste.

Muniz et al. (2011) avaliaram o efeito da rotação entre culturas e pastagens anuais sobre as propriedades biológicas do solo, com ênfase no componente de pastagem em suas diferentes idades de desenvolvimento em um sistema de integração lavoura-pecuária, e verificaram que este melhorou os parâmetros biológicos e imobilizou carbono no solo, em comparação à pastagem degradada. Esses autores encontraram valores máximos de 1,56 C-CO<sub>2</sub> respiração para o solo sob Cerrado e 0,61 C-CO<sub>2</sub> para a pastagem degradada, reduzindo com a idade das pastagens, diferente dos resultados encontrados neste estudo que a idade das pastagens não afetou a RBS (Tabela 2).

Contrários estes resultados, alguns autores verificaram maior atividade microbiana na pastagem cultivada, em relação à vegetação nativa (Xavier et al., 2006; Araújo et al., 2007; Carneiro et al., 2008) e atribuídos ao intenso desenvolvimento e ciclagem do sistema radicular das gramíneas forrageiras, na camada superior do solo. Relatado ainda, por Cardoso et al (2009) ao verificarem a substituição da floresta nativa por pastagem cultivada de *Brachiaria decumbens* com diferentes idades de formação promoveu elevação na RBS observados 34 µg C-CO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> na pastagem cultivada com 27 anos (10 - 20 cm) e 35 µg C-CO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> pastagem cultivada com 11 anos de formação (0–10 cm) e reduções substanciais nos teores de carbono orgânico total, carbono e o quociente microbiano.

Em relação a atividades das FAC e FAL houve uma similaridade nos solos entre os sete ambientes avaliados (p>0,05), demonstrando que as intervenções antrópicas não interferiram para estes bioindicadores no solo (Tabela 2). Apresentaram-se os valores para estas variáveis variando de 5,43 a 9,08 e 1,64 a 2,61 mg NP h<sup>-1</sup> g<sup>-1</sup>, respectivamente.

Em solos muito intemperizados, a disponibilidade de P para as plantas está diretamente relacionada às formas de P orgânico, que tem o seu conteúdo alterado por influência do tipo de cobertura vegetal (Zaia et al., 2008), entretanto no presente trabalho o manejo do solo pode ter alterado estes teores (Tabela 1), mas não ao ponto de influenciar a atividade de fosfatase no solo (Tabela 2).

Os valores absolutos de FAC apresentaram-se em torno de três vezes maiores em relação à alcalina, atribuído aos solos ácidos sob Cerrado na região. Stieven (2012) avaliaram atividades enzimáticas em solo sob rotação de soja/pastagem, sistemas de integração lavoura e pecuária (ILPF) formado de *Eucalyptus urograndis*, soja/milho e *Brachiaria ruziziensis* e a mata nativa. Esses autores encontraram valores médios 740,51 e 717,46 para fosfatase alcalina e 621,63 e 423,88  $\mu\text{g p-nitrofenol h}^{-1}$  para fosfatase ácida, na estação de chuva e seca, respectivamente.

Os valores de fosfatases, embora não tenham sido calculados considerando a matéria orgânica, estão adequados aos de referência propostos por Mendes et al. (2015) das fosfatase ácida em Latossolos Vermelhos do Cerrado com base no teor de matéria orgânica do solo sendo adequados quando  $>1.150 \text{ mg de p-nitrofenol kg}^{-1} \text{ de solo h}^{-1}$ .

De acordo com os dados da tabela 2, os resultados sugerem que a atividade da UR e RBS sejam parâmetros microbiológicos mais sensíveis como indicador de mudanças iniciais de estresses ecológicos e/ou restauração da qualidade do solo nos sistemas de manejo avaliados. Embora, seja necessário considerar as peculiaridades dos diferentes sistemas de manejo em cada região. Segundo Dick (1992), nenhum indicador é adequado a todas as situações, em razão da natureza dinâmica e complexa desses ecossistemas.

Em relação ao efeito do fator profundidade, os resultados para atividade microbiana, independente de ambientes e distâncias, estão apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3** – Atividade da enzima urease (UR), arginase (AR), fosfatase ácida (FÁC), alcalina (FAL), e respiração basal do solo (RBS) em função de duas profundidades do solo

Atividade enzimática	Profundidade (cm)	
	-----0-5-----	-----60-100-----
UR ( $\mu\text{g N-NH}_4^+ \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ solo}$ )	282,49 A*	164,71 B
AR ( $\mu\text{g N-NH}_4^+ \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ solo}$ )	19,08 A	11,86 B
FAL ( $\text{mg NP h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ solo}$ )	2,97 A	1,81 B
FÁC ( $\text{mg NP h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ solo}$ )	9,02 A	5,32 B
RBS ( $\text{mg C-CO}_2 \text{ h}^{-1} \text{ kg}^{-1} \text{ solo}$ )	21,44 A	21,08 A

\*Médias seguidas de letras distintas na linha diferem entre si pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ).

Em relação à profundidade houve diferença significativa entre ambientes para todas as atividades enzimáticas exceto a RBS (Tabela 3). Os valores das atividades enzimáticas foram superiores na camada de 0-5 cm, em razão da maior quantidade de substratos energéticos e nutricionais para o metabolismo e crescimento microbiano. Segundo Duarte et al. (2013), em sistemas integrados, onde há diversidade maior de material orgânico depositado sobre a superfície. A atividade biológica é altamente concentrada nas primeiras camadas do solo, na profundidade até 30 cm, pois os microrganismos ocupam uma fração menor que 0,5% do

volume total do solo e representam menos que 10% da matéria orgânica (Araújo; Monteiro, 2007).

A RBS não apresentou efeito significativo ( $p > 0,05$ ) para as profundidades do solo, e para interação profundidade x sistemas. Provavelmente, em parte pode ser explicado da ocorrência de cerca de dez dias com déficit hídrico (Figura 1) antes da coleta de solo para análise. A respiração é bastante sensível ao estresse hídrico do solo (Silva et al., 2010; Brookes, 1995), e provavelmente maior do que a atividade de enzimas que são acumulativas no solo.

No trabalho de Stieven (2012), encontraram o acréscimo da RBS nos sistemas ILPF constituído de *Brachiaria ruziziensis*, milho e *Eucalyptus urogradis* em linha simples foram de 1263,16 e 595,14  $\mu\text{g CO}_2 \text{ g solo}^{-1}$  e em relação à mata nativa 1180,57 e 389,88  $\mu\text{g CO}_2 \text{ g solo}^{-1}$  coletados na chuva e seca respectivamente.

Em relação a outros bioindicadores da qualidade biológica do solo, os valores médios de população de bactérias (UFCBAC), fungos (UFCFUNG) e relação bactéria: Fungo (B:F) nos solos, nos sistemas avaliados variaram somente de modo significativo ( $p < 0,05$ ) para população de bactérias (Tabela 4).

**Tabela 4** – População de bactérias (UFCBAC) e de colônias de fungos (UFCFUNG) e relação bactéria: Fungo (B:F) nos solos dos sistemas silvipastoris (SSP), das pastagens a pleno sol (PS) e do Cerrado

Ambientes*	População de microrganismos		
	Bactérias	Fungos	B:F
Log UFCs $\text{g solo}^{-1}$			
SSP1	5,43 B	3,29 A	1,67 A
SSP2	5,21 B	3,37 A	1,67 A
SSP3	5,50 B	3,12 A	1,81 A
SSP4	5,49 B	3,22 A	1,77 A
PS1	5,52 B	3,25 A	1,71 A
PS2	6,22 A	3,04 A	2,06 A
VN	5,62 B	2,86 A	2,02 A
CV (%)	3,33	16,32	17,55

Medias na coluna seguida de letras distintas na coluna diferem pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). \*Ambientes: sistemas silvipastoris: implantado em 2009 com 333 árv.  $\text{ha}^{-1}$  (SSP1), em 2009 com 166 árv.  $\text{ha}^{-1}$  (SSP2), em 2011 com 333 árv.  $\text{ha}^{-1}$  (SSP3) e em 2011 com 166 árv.  $\text{ha}^{-1}$  (SSP4); pastagens a pleno sol: implantada em 2009 (PS1) e implantada em 2011 (PS2) e vegetação nativa (VN).

Conforme a Tabela 4, a pastagem implantada há cinco anos (PS2) apresentou superioridade na população de bactérias em relação aos demais tratamentos. Isso provavelmente indica maior atividade fotossintética e conseqüentemente maior aporte de C prontamente assimilável e disponibilidade de fonte de energia e nutrientes, favorecendo a multiplicação da população de bactérias. Sabe-se que em torno de 20-25% de fotoassimilados acumulados a partir de fotossíntese são liberados via sistema radicular.

Deve se considerar a contribuição do aporte de material de origem animal no solo, pois esta PS2 foi superior à população bacteriana sob VN. Os animais, em pastejo, agregam ao sistema quantidades de nutrientes essenciais para as plantas promovem aumento significativo da biomassa de microrganismos sob a taxa lotação dos animais (Assis Júnior et al., 2003; Garcia; Nahas, 2007). Esses autores concluem que a presença do animal, dependendo da taxa de lotação favorece ao aumento da população microbiana.

A comunidade microbiana do solo em pastagens pode ser afetada pela intensidade de pastejo, segundo Klumpp et al., (2009) verificaram uma diminuição dos fungos do solo, predomínio de bactérias Gram (+) que aceleram a decomposição do COS e diminuem o nitrogênio disponível quando em pastejo mais intenso.

Stieven (2012) avaliaram a contagem da população de bactérias para quatro sistemas de integração e na mata cerrado também na profundidade de 0 – 5 cm e verificaram valores médios de 3,49 e 2,90 x 10<sup>3</sup> UFCs g solo<sup>-1</sup> na estação chuvosa e seca respectivamente. O sistema rotação soja e pastagem apresentaram elevado número de células viáveis de bactérias, superior a sistemas ILPF independente do arranjo de fileiras de eucalipto.

Embora, não tenha sido detectada variação significativa para a comunidade de fungos e na relação bactérias e fungos em função dos sistemas avaliados (Tabela 6), a população da comunidade fúngica geralmente apresenta menor número que as bactérias (Brandão, 1992). Entretanto, os fungos geralmente contribuem com a maior parcela da biomassa microbiana do solo em função da expansão da massa micelial.

O padrão de utilização de carbono das amostras de solo dos ambientes foi obtido valores médios da atividade metabólica apresentados na Tabela 5. A análise de variância mostrou diferenças significativas entre ambientes, independente de tempo de avaliação (p<0,05).

**Tabela 5** – Atividade total (AT), índice de Shanon (S), diversidade microbiana (H), equidade (E) em sete ambientes avaliados

Ambientes	Atividades metabólicas			
	AT	H	E	S
SSP1	41,47 AB	3,12 A	0,98 A	23,67 A
SSP2	31,28 B	3,07 A	0,97 A	24,11 A
SSP3	30,17 B	2,74 B	0,91 A	21,67 A
SSP4	31,73 B	2,98 AB	0,94 A	23,67 A
PS1	51,11 A	3,18 A	0,72 A	26,44 A
PS2	36,58 AB	3,11 A	0,96 A	25,78 A
VN	31,70 B	3,03 AB	0,94 A	25,44 A

Medias na coluna seguidas de letras distintas diferem pelo teste Tukey (p<0,05). \*Ambientes: sistemas silvipastoris: implantado em 2009 com 333 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP1), em 2009 com 166 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP2), em 2011 com 333 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP3) e em 2011 com 166 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP4); pastagens à pleno sol: implantada em 2009 (PS1) e implantada em 2011 (PS2) e vegetação nativa (VN).

As diferenças evidenciadas foram detectadas quando se compara a diversidade funcional através dos parâmetros AT e H das amostras de solo (p<0,05).

Foi observado a maior diversidade funcional em AT sob pastagem a pleno sol com mais tempo estabelecido (sete anos) (PS1) e menores valores foram encontrados em sistemas silvipastoris com menor densidade e/ou estabelecidos a cinco anos (SSP2, SSP3, SSP4) bem como vegetação nativa, os demais não diferem (Tabela 5). Carneiro et al. (2009) elucidam que valores maiores de AT são obtidos em comunidade com maior população bacteriana e com células metabolicamente mais ativas.

Segundo Zak et al. (1994) as mudanças no perfil funcional em relação à AT, podem ser explicadas pela diversidade genética, efeitos ambientais nas expressões gênicas e nas interações ecológicas entre diferentes populações. Sobretudo, em solos sob pastagens a população microbiana pode estar em maior atividade em virtude da característica do sistema radicular vigoroso das forrageiras, com rápido crescimento e a posterior senescência das raízes destas plantas e contribuem para estabilização de agregados do solo (Bayer et al., 2011). Com reflexo ao aumento da biomassa microbiana em até quatro vezes maior em ecossistemas com pastagens em relação aos solos sob floresta (Feigl et al., 1997).

Em relação ao índice de Shannon H, foi encontrado valores maiores para o sistema a mais tempo implantado (SSP1 e SSP2) e pastagens (PS1 e PS2), em relação ao sistema SSP3, e não diferiram significativamente dos demais inclusive a vegetação nativa (Tabela 5). Os maiores valores podem ser em virtude de estes sistemas apresentarem maior fixação de C no solo assim como relatado por Moreira et al. (2018, p. 97). O C armazenado no solo é considerado uma fonte potencial de energia para a população de microrganismos do solo. No referido trabalho foi verificado que o estoque de C foi menor na vegetação nativa, menor também foi o valor evidenciado de H neste estudo (Tabela 5). Além disso, esses resultados podem ter sido influenciados pelo histórico da área experimental.

O valor de índice de Shannon varia entre 0 e 4. Os valores obtidos máximos de 2,74 a 3,18 nats ind<sup>-1</sup> estão dentro dos valores que representa máxima diversidade funcional da população bacteriana, principalmente gram negativas, quando há utilização de todos substratos (Tabela 5). A diversidade da microbiota do solo pode estar relacionada a fatores tais como a diversidade vegetal, atributos químicos (teores de nutrientes e pH) e físicos (porosidade, estabilidade de agregados e estrutura) do solo (Souza et al. 2012).

Em dez sistemas de consórcio de culturas e o cerrado, na mesma região deste estudo, foram avaliados por Melo (2017) para o H, e apresentou-se diferença significativa entre os sistemas, independente dos períodos de coletas. Observou em solo sob sistema de rotação anual entre consórcio de milho e pastagem valor de 2,64 e o menor valor (1,69) em monocultivo de pastagem de *U. brizantha* cv. Piatã.

Em um Latossolo Vermelho distroférrico argiloso manejado nos sistemas ILP plantio direto, sob intensidades de pastejo a 10, 20, 30 e 40 cm, Chávez et al. (2011) avaliaram, via Biolog, o índice de diversidade de Shannon (H) e atividade enzimática e verificaram maior H em intensidades moderadas (20 a 40 cm) e maiores valores de enzimas no tratamento sem pastejo provavelmente em razão de resíduos vegetais remanescentes.

Com base nos resultados dos parâmetros referidos de atividades enzimáticas, RBS e a atividade total foi possível perceber que os sistemas com maiores densidades arbóreas (SSP1 e SSP3) não diferiram para estas repostas para os sistemas (SSP2 e SSP4) com 166 árvores.

ha<sup>-1</sup> (Tabela 4). Assim, a redução de 50% da densidade arbórea realizada, não foi efetiva para discriminar quanto à atividade de microrganismos nos sistemas silvipastoris.

Entretanto, para o H verificou-se que houve diferença significativa entre os sistemas com 333 árvores. ha<sup>-1</sup> (SSP1 e SSP3), e ao proceder ao desbaste, para os sistemas com menor densidade arbórea (SSP2 e SSP4) não diferiram entre si. Deste modo, o H foi afetado em função do tempo de estabelecimento para os sistemas com maiores densidades arbóreas, embora estes resultados não foram observados para o sistema de menor densidade arbórea, indicando este parâmetro como sensível para avaliação da qualidade de solo em sistemas silvipastoris independente da densidade arbórea.

Rodrigues et al. (2015) estudaram as análises microbiológicas do solo em sistemas silvipastoris constituídos por *Urochloa brizantha* cv. Marandú com densidades de 80, 130 e 160 palmeiras de babaçu ha<sup>-1</sup> e observaram que o sistema silvipastoril favoreceu a biomassa e atividade microbiana do solo, sobretudo em alta densidade, em relação ao solo sob pasto *B. brizantha* em monocultivo.

A riqueza de substrato (S) e equidade (E) refletem o número de C metabolizado pela comunidade microbiana e o grau de uniformidade de espécies dentro desta comunidade, respectivamente. Para estes parâmetros, não houve diferença significativa ( $p > 0,05$ ) entre os ambientes avaliados. Estes fatos indicam uma baixa sensibilidade destes índices para diferenciar o perfil metabólico em amostras de solos sob ambientes avaliados, ou ainda que as espécies se apresentaram de forma homogênea nos sistemas de cultivo, inferindo que não há um grupo de microrganismos predominante que utiliza determinado substrato.

Não obstante, outras pesquisas indicam que pode haver grupos predominantes em função de manejo e uso do solo. Souza et al. (2012) encontraram maior riqueza de substrato (S) em solos cultivados com diferentes manejos em sistema de rotação soja/milho sob preparo convencional e plantio direto, em relação a solos sob vegetação nativa. Esses autores ressaltam que o manejo do solo altera parte do perfil metabólico e da estrutura genética das comunidades bacterianas do solo, sob uma mesma cultura de milho e soja.

As comunidades microbianas têm um grande potencial para detectar mudanças temporais ou espaciais e, portanto, representam uma ferramenta poderosa para a compreensão da dinâmica funcional de agroecossistemas em contextos ecológicos básicos e aplicados (Mishra; Nautiyal, 2009).

Os resultados observados desta pesquisa mostram que a atividade microbiana pode ser influenciada pelos sistemas de cultivo, dependendo do bioindicador utilizado, bem como pode ter interferido no estado nutricional do solo em virtude da qualidade química da serrapilheira no solo, e esta afeta a dinâmica da matéria orgânica do solo.

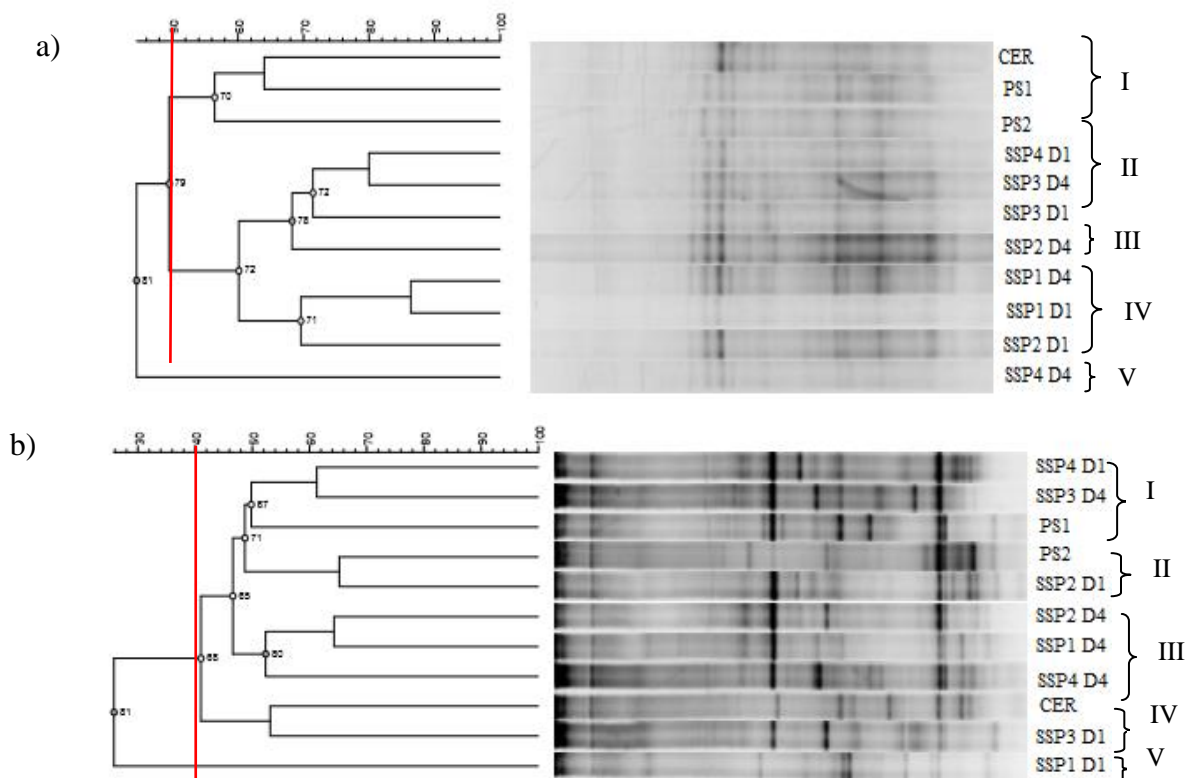
As variações no perfil metabólico estão correlacionadas com as variações na estrutura genética das comunidades bacterianas do solo (Souza et al., 2012).

A estrutura das comunidades bacterianas e fúngicas nos solos sob diferentes ambientes, na profundidade de 0-5 cm e distâncias a 0,5 m (D1) e 7,0 m (D4) a partir renque do eucalipto foram obtidas através de DGGE está representada na Figura 3 a,b. Cada canaleta contém a amostra de cada tratamento sendo possível observar o perfil de bandas formadas ao longo do gel. Cada banda representa o fragmento de 16S DNA e 18S para as espécies de bactérias e fungos respectivamente, amplificáveis.



A partir dos resultados obtidos com base no perfil dos géis de DGGE observaram-se diferenças na composição das comunidades bacterianas e fúngicas do solo nos sistemas (Figura 3 a,b).

No grupo funcional bactérias, o dendograma analisado demonstrou a formação de cinco clusters, com 50% de similaridade (Figura 3a), constituídos de: I – (CER, PS1, PS2), II – (SSP4D1, SSP3D4, SSP3D1), III- (SSP2D4), IV – (SSP2D1, SSP1D1 e SSP1D4) e o V – SSP4D4.



**Figura 3.** a) DGGE e dendograma da comunidade de bactérias do solo, a 0,5 m (D1) e 7,0 m (D4) do renque eucalipto e b) DGGE e dendograma da comunidade de fungos do solo nas mesmas distâncias citadas \*Ambientes: sistemas silvipastoris: implantado em 2009 com 333 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP1), em 2009 com 166 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP2), em 2011 com 333 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP3) e em 2011 com 166 árv. ha<sup>-1</sup> (SSP4); pastagens a pleno sol: implantada em 2009 (PS1) e implantada em 2011 (PS2) e vegetação nativa (CER).

Reis et al. (2017) elucidam a existência de um microrganismo em determinado solo é função das condições ambientais dominantes e dos limites da sua carga genética. Explicam que fatores ambientais (abióticos) são responsáveis por limitar a sobrevivência e a atividade dos microrganismos do solo, tais como, temperatura, pH, salinidade, substratos orgânicos, etc., portanto, são vários os componentes responsáveis pela supressividade do solo (Hornby, 1983).

O primeiro cluster foi composto pelos tratamentos cerrado e as pastagens a pleno sol (CER, PS1, PS2). A estrutura da comunidade genética das bactérias presentes no solo sob as pastagens, independentemente do tempo de implantação, se assemelhou à da vegetação nativa. Provavelmente, este fato deve-se a característica e distribuição do sistema radicular da forrageira *U. brizantha* cv. Piatã. De fato, Bayer et al. (2011) retratam que o sistema radicular vigoroso das forrageiras possibilita maior condições de riqueza e diversidade microbiana.

Uma vez que de 20-30% dos fotoassimilados produzidos pelas plantas são exsudados na rizosfera das plantas. Estes produtos são indispensáveis como fonte de energia e material celular para microbiota do solo.

De modo geral, nos solos dos ecossistemas estáveis apresentam uma maior diversidade microbiana. A microbiota é favorecida pela heterogeneidade da cobertura vegetal, que contribui para maior aporte de matéria orgânica propiciando maior quantidade e qualidade de fontes de carbono para desenvolvimento da comunidade microbiana. Num ecossistema natural a regulação interna de funcionamento é basicamente um produto da diversidade biológica, que responde pela estabilidade e sustentabilidade de agroecossistema (Swift e Anderson, 1993).

No segundo cluster, os sistemas silvipastoris com menor idade e independente da densidade arbórea (SSP4D1, SSP3D1, SSP3D4) se agruparam de modo que apresentou a mesma estrutura genética (Figura 3a), esse fato, em partes, pode ser observado por causa da variação de deposição da liteira ao longo do tempo.

O terceiro cluster foi disposto apenas com o sistema SSP2D4, este sistema silvipastoril implantado em 2011 com 166 árvores. ha<sup>-1</sup> e com solo coletado na distância a 7 m do eucalipto apresentou padrão distinto e mais afastado dos demais. E esse distanciamento dos demais SSPs supracitados pode estar associado às alterações nos teores dos atributos químicos do solo (Al, Mg, SB e m) (Tabela 1).

Em relação ao quarto cluster, constituído dos sistemas silvipastoris SSP2D1, SSP1D1 e SSP1D4, que são os sistemas de maior idade independente da densidade arbórea e distâncias amostradas. Neste caso o tempo de maturidade destes sistemas silvipastoris propiciou em aproximá-los em relação à estrutura genética das bactérias no solo.

Para este grupo funcional, o quinto cluster foi composto apenas pelo tratamento SSP4D4 que apresentou a maior divergência quando comparado aos demais (Figura 3a). É importante observar que a amostra SSP4D4 a qualidade do padrão de bandas obtido está abaixo da qualidade observada em outras amostras e isso pode ter interferido no padrão discrepante desta amostra mais do que a efeito biológico.

Com base nos resultados genéticos, não é possível observar um padrão entre os SSP e as distâncias amostrais a partir do renque de eucaliptos. Assim, exceto a amostra SSP4D4, os demais tratamentos SSP exercem um efeito em relação ao Cerrado e PS.

Houve alteração na estrutura genética da comunidade bacteriana em função do efeito do tempo de estabelecimento do sistema silvipastoril (maturação) do que em relação à densidade arbórea e a distância amostrada.

Nadw (2007) também verificaram que a análise de agrupamento com base no perfil dos géis de DGGE apareceu efeitos diferenciais do tipo de coberturas vegetais sobre as estruturas genéticas das comunidades bacterianas.

Neste trabalho as variações, entre as estruturas metabólicas e genéticas das comunidades bacterianas do solo podem ser resposta a uma nova condição de equilíbrio em sistemas SSP.

Souza et al. (2012) avaliando com essas mesmas técnicas as comunidades bacterianas de Latossolo Vermelho-Amarelo sob vegetação nativa (cerrado *stricto sensu*), cultivado com milho e soja sob plantio direto e preparo convencional observaram que quando o ambiente do solo sofre alterações, a composição da comunidade microbiana modifica-se por organismos

mais adaptados às novas condições e por adaptações evolutivas dos organismos pré-existentes.

Verificou-se na Figura 3b a análise de similaridade no conjunto dos ambientes avaliados no dendograma para o grupo funcional de fungos, apresentou com a aproximadamente 40% de similaridade uma formação de cinco clusters (Figura 3b). Embora, a estrutura da comunidade fúngica apresentaram geneticamente diferentes das bactérias (Figura 3 a,b).

O primeiro cluster foi constituído por amostras de sistemas silvipastoris em que se agruparam ambos os sistemas de menor idade em ambas as distâncias avaliadas e pastagem a pleno sol implantada em 2009 (SSP4D1, SSP3D4 e PS1).

O segundo cluster foi formado pelo sistema SSP2D1 e PS2, que se aproximaram quanto à estrutura genética, sendo estes sistemas implantados em tempos diferentes, 2009 e 2011 respectivamente. Em parte, estes resultados podem ser explicados pela taxa de radiação fotossinteticamente ativa destes ambientes estarem próximos os valores conforme tabela 2 (Moreira et al., 2018, p. 58).

O cluster III foi composto por sistemas (SSP2D4, SSP1D4 e SSP4D4), sendo possível diferenciar claramente o efeito da distância do renque de eucaliptos, pois se assemelharam quanto à estrutura genética do grupo funcional dos fungos os SSP mais distante do componente arbóreo.

As amostras de vegetação nativa (VN) ficaram agrupado com o sistema implantado há cinco anos com maior densidade arbórea (SSP3D1) no cluster IV (Figura 3 b), sugerindo maior coerência com a diversidade metabólica apresentada no índice de diversidade de Shannon (Tabela 5). Este sistema foi o mais análogo à comunidade fúngica no solo da vegetação nativa. O SSP3D1 pode estar numa tendência de equilíbrio estrutural e funcional quanto à comunidade fúngica do solo como referência sob o cerrado mata nativa.

O sistema implantado há mais tempo e com maior densidade arbórea, SSP1D1, é o mais divergente não agrupando com nenhum dos demais ambientes avaliados. Demonstra como esperado que o tempo de estabelecimento e composição da cobertura vegetal, sugerindo que apresenta maior relação C:N e que interfere na população de comunidade fúngica.

De uma forma geral os dados indicam que a comunidade fúngica apresenta maior variabilidade espacial e sofre menor influência dos tratamentos do que em relação à bacteriana. Embora, ambos com mesmo número de grupos, aparentemente, os fungos apresentam maior riqueza de espécies em função do maior número de fragmentos representados pelas bandas notados no perfil DGGE (Figura b).

Para pesquisas futuras, com abordagem polifásica, sugere-se realizar o sequenciamento das bandas presentes no gel de DGGE, para determinar quais são as espécies predominantes de bactérias e fungos presentes nesses ambientes e estabelecer uma relação com a diversidade funcional. Assim, será possível obter melhor entendimento da diversidade, estrutura e abundância das comunidades microbianas bem como a dinâmica e interação entre diversos níveis populacionais dos microrganismos que a interferem nos processos ambientais sob efeito dos sistemas silvipastoris.

## Conclusões

A substituição da vegetação nativa por pastagens monocultivo e sistemas silvipastoris alteraram na qualidade biológica do solo dependendo do bioindicador utilizado.

Os parâmetros de diversidade funcional (atividade total, índice de Shannon), atividade enzimática uréase e respiração basal do solo, foram os atributos mais sensíveis às alterações na qualidade do solo, sugerindo estes atributos para o monitoramento da qualidade do solo nestes sistemas, como bioindicadores de qualidade ambiental podendo compor índices de sustentabilidade agrícola.

As pastagens e os sistemas silvipastoris interferiram na atividade uréase, estrutura genética e funcional do solo (H).

A redução de 50% da densidade arbórea realizada nos sistemas silvipastoris, não foi efetiva para discriminar quanto à atividade microbiana nos sistemas silvipastoris.

Nos sistemas silvipastoris mais adensado houve efeito do tempo de estabelecimento dos sistemas, enquanto, no sistema realizado o desbaste não houve efeito da idade do eucalipto, para o índice de Shannon.

Independente dos ambientes avaliados, os atributos biológicos apresentaram valores mais elevados na camada superficial (0-5 cm) exceto na respiração basal do solo.

A comunidade fúngica apresentou maior variabilidade genética espacial e sofre menor influência dos tratamentos.

## Referências

ALVARENGA, M. I. N.; SIQUEIRA, J. O.; DAVIDE A. C. Teor de carbono, biomassa microbiana, agregação e micorriza em solos de Cerrado com diferentes usos. *Ciência Agrotécnica*, v. 23, n. 3, p. 617-625, 1999.

ALEF, K; KLEINER, D. Estimation of anaerobic microbial activities in soils by arginine-ammonification and glucose – dependent CO<sub>2</sub> production. *Soil Biology and Biochemistry* v.19: 683-686, 1987.

AGNELLI, A.; ASCHER, J.; CORTIA, G.; CECCHERINI, M. T.; NANNIPIERI, P.; PIETRAMELLARA, G. Distribution of microbial communities in a forest soil profile investigated by microbial biomass, soil respiration and DGGE of total and extracellular DNA. *Soil Biology & Biochemistry*, v. 36, p. 859–868, 2004. doi:10.1016/j.soilbio.2004.02.004.

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

ARUNACHALAM, K.; ARUNACHALAM, A.; MELKANIA, N.P. Influence of soil properties on microbial populations, activity and biomass in humid subtropical mountainous ecosystems of India. *Biology and Fertility of Soils*, 30:217-223, 1999.

ASSIS JÚNIOR, S. L. de; ZANUNCIO, J. C.; KASUYA, M. C. M.; COUTO, L.; MELIDO, R. C. N. Atividade microbiana do solo em sistemas agroflorestais, monoculturas, mata natural e área desmatada. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v.27, n.1, p.35-41, 2003.

BALOTA, E. L.; CALEGARI, A.; NAKATANI, A. S.; COYNE, M. S. Benefits of winter cover crops and no-tillage for microbial parameters in a Brazilian Oxisol: A long-term study. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 197, p. 31-40, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2014.07.010>

BAYER, C.; AMADO, T.J. C.; TORNQUIST, C. G.; CERRI, C. E. C.; DIECKOW, J.; ZANATTA, J. A.; NICOLOSO, R. D. S. Estabilização do carbono no solo e mitigação das emissões de gases de efeito estufa na agricultura conservacionista. *Tópicos. Cienc. Solo*, v.7, p. 55-118, 2011.

BRANDÃO, E. M. Os componentes da comunidade microbiana do solo. In: CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M.; NEVES, M. C. P. Microbiologia do solo. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. p. 1-15.

BROOKES, D. C. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. *Biology and Fertility of Soils*, Berlin, v. 19, p. 269-279, 1995.

BONDE, T. A.; MILLER, T. H. N. M.; S. J. Arginine ammonification assay as a rapid index of gross N mineralization in agricultural soils. *Biol Fertil Soils*. v 34, p.179-184. 2001.

CARDOSO, E. L.; SILVA, M. L. N.; MOREIRA, F. M. de S.; CURI, N. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em pastagem cultivada e nativa no Pantanal. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.44, n.6, p.631-637, jun. 2009.

CHÁVEZ, L. F.; ESCOBAR, L. F.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. de F.; MEURER, E. J. Diversidade metabólica e atividade microbiana no solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob intensidades de pastejo. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.46, n.10, p.1254-1261, out. 2011.

DICK, R. P. A review: long-term effects of agricultural systems on soil biochemical and microbial parameters. *Agricultural Ecosystems Environmental*, v. 40, p. 25-36, 1992

DORAN, J.W.; PARKIN, T.B., 1994. Defining and Assessing Soil Quality. In: DORAN, J.W., COLEMAN, D.C., BEZDICEK, D.F.AND STEWART, B.A., Eds., Defining Soil

Quality for a Sustainable Environment, Soil Science Society of America Journal, Madison, 3-21. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaspecpub35.c1>

DORAN, J. W.; SARRANTONIO, A.; LIEBIG, M. A. Soil health and sustainability. *Advances in Agronomy*, 56, p. 1-54, 1996.

FEIGL, B. J.; FERNANDES, S. A. P.; RIZZO, R. T. Biomassa microbiana da serapilheira e do solo sob floresta e pastagem em Rondônia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26, 1997, Rio de Janeiro. Resumos expandidos... Rio de Janeiro: SBSC, 1997. CD ROM.

FLORES, J. P. C.; CASSOL, L. C.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. de F. Atributos químicos do solo em função da aplicação superficial de calcário em sistema de integração lavoura-pecuária submetido a pressões de pastejo em plantio direto. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, 32:2385-2396, 2008.

FERNANDES, M. F.; ANJOS, J. L.; SOBRAL, L. F.; FERNANDES, R. P. M.; ARAÚJO, A. S. Efeito da saturação por bases sobre a atividade de fosfatases em um solo de tabuleiro costeiro cultivado com citros. I. Correlações entre a atividade enzimática e as diferentes características do solo alteradas pela calagem. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, v.22, p. 395-401, 1998.

FERNANDES, M. M; CARVALHO, M. G. C.; ARAÚJO, J. M. R.; MELO, F. R. SILVA, C. A. SAMPAIO, F. M. T.; LOBATO, M. G. R., SILVA, C. A.; SAMPAIO, F. M. T.; LOBATO, M. G. R. Matéria orgânica e biomassa microbiana e m plantios de eucalipto no Cerrado Piauiense. *Revista Floresta e Ambiente*, v. 19, n. 14, p. 453-459, 2012.

FERREIRA, E. P. de B.; STONE, L. F.; MARTIN-DIDONET, C. C. G *População e atividade microbiana do solo em sistema agroecológico de produção. Revista Ciência Agrônômica*, v. 48, n. 1, p. 22-31, jan-mar, 2017. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE. ISSN 1806-6690.

FERREIRA, W. P. M. Caracterização climática das séries temporais de temperatura e precipitação pluvial em Sete Lagoas, MG, 2011. 33 p.:il. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Milho e Sorgo, ISSN 1679- 0154; 35.

GAMA-RODRIGUES, E. F. da; BARROS, N. F. de; PIO VIANA, A.; SANTOS, G. de A.. Alterações na biomassa e na atividade microbiana da serapilheira e do solo, em decorrência da substituição de cobertura florestal nativa por plantações de eucalipto, em diferentes sítios da Região Sudeste do Brasil *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, n. 4, agosto, p. 1489-1499, 2008.

GARCIA, M. R. L.; NAHAS, E. Biomassa e atividades microbianas em solo sob pastagem com diferentes lotações de ovinos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, n. 2, p. 269-276, 2007.

GARLAND, J. L.; MILLS, A.L. Classification and characterization of heterotrophics microbial communities on the basis of patterns of community-level-sole-carbon-source-utilization. *Applied and Environmental Microbiology*, v.57, p.2351-2359, 1991.

GRAYSTON, S. J.; JONES, D. V. D. Rhizosphere carbon flow in trees, in comparison with an annual plant: the importance of root exudation and its impact on microbial activity and nutrient availability. *Applied Soil Ecology*, Amsterdam, v. 5, n. 1, p. 2956, 1996.

GRAYSTON, S.J.; WANG, S.; CAMPBELL, C.D. & EDWARDS, A.C. Selective influence of plant species on microbial diversity in the rhizosphere. *Soil Biol. Biochem.*, v.30, p. 369-378, 1998.

GATTO, A.; BARROS, N. F. de; NOVAIS, R. F.; SILVA, I. R. da; LEITE, H. G.; LEITE, F. P.; VILLANI, E. M. de A. Estoques de carbono no solo e na biomassa em plantações de eucalipto *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34:1069-1079, 2010

HARRISON, A.F. Relationship between intensity of phosphatase activity and physico-chemical properties in woodland soils. *Soil Biology & Biochemistry*, Oxford, v.15, n.1, p.93-99, Jan. 1983.

HERBIEN, S.A.; NEAL, J.L. Soil pH and phosphatase activity. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, New York, v.21, n.5/6, p.436-456, 1990.

HORNBY, D. Suppressive Soils. *Annual Review of Phytopathology*, Palo Alto, v. 21, p. 65-85, Sept. 1983.

HUNGRIA, M.; ARAUJO, R. S.. Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola. 1994. Brasília, EMBRAPA – CNPAF, Documentos, 46, 542p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/199952/manual-de-metodos-empregados-em-estudos-de-microbiologia-agricola>. Acesso em 29 de agosto de 2017.

INSAM, H.; DOMSCH, K. H. Relationship between soil organic carbon and microbial biomass on chronosequences of reclamation sites. *Microbial Ecology*, v. 15, n. 4, p. 177-188, 1988.

IWATA, B. F.; LEITE, L. F. C.; ARAÚJO, A. S. F.; NUNES, L. A. P. L.; GEHRING, C.; CAMPOS, L. P. Sistemas agroflorestais e seus efeitos sobre os atributos químicos em Argissolo Vermelho-Amarelo do Cerrado piauiense. *Revista brasileira engenharia agrícola e ambiental*, v.16, 2012.

JENKINSON, D. S. e POWLSON, D. S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil-I. Fumigation with chloroform. *Soil Biology and Biochemistry*, v.8, p.167-177, 1976.

KANDELER, E.; GERBER, H. Short term assay of soil urease activity using colorimetric determination ammonium. *Boil. Fertil. Soils*, 6: 68-72, 1988.

KOZDRKOJ, J.; VAN ELSAS, J. D. Structural diversity of microbial communities in arable soils of a heavily industrialised area determined by PCR-DGGE fingerprinting and FAME profiling. *Applied Soil Ecology*, V. 17, p. 31-42, 2001.

KENNEDY, A. C.; SMITH, K. L. Soil microbial diversity and the sustainability of agricultural soils. In: COLIINS, H. P.; BLEDSOE, C. S.; INGHAM, E. R.; KLUG, M. J.; ROBERTSON, G. P. (Eds). *Plant and Soil*. v.170, p. 75-86. 1995.

KLUMPP, K.; FONTAINE, S.; ATTARD, E. et al. Grazing triggers soil carbon loss by altering plant roots and their control on soil microbial community. *J. Ecol.*, v.97, p.876-885, 2009.

LANDI, L.; F. V.; ASCHER, J.; RENELLA, G.; FALCHINI, L. & NANNIPIERI, P. Root exudate effects on the bacterial communities, CO<sub>2</sub> evolution, nitrogen transformations and ATP content of rhizosphere and bulk soils. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 38, p. 509- 516, 2006.

LEITE, L. F. C.; ARRUDA, F. P. de; COSTA, C. DO N.; FERREIRA, J. da S.; NETO, M. R. H. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.17, n.12, p.1257-1263, 2013.

LOPES, A. A. C. et al. Interpretation of microbial soil indicators as a function of crop yield and organic carbon. *Soil Science Society of America Journal*, 77:461-472, 2012.

MARTIN, J.P. Use of acid, rose bengal, and streptomycin in the plate method for estimating soil fungi. *Soil Science*, Philadelphia, 69: 215-232. 1950.

MELO, I. G. *Atividade microbiana de solo de Cerrado submetido à diferentes sistemas de cultivo de grãos e forragem*. Dissertação (Mestrado em Bioengenharia), Universidade Federal de São João Del Rei, 2017, 68p.

MENDES, I. de C.; SOUSA, D. M. G. de; REIS JUNIOR, F. B. dos BIOINDICADORES DE QUALIDADE DE SOLO: DOS LABORATÓRIOS DE PESQUISA PARA O CAMPO *Cadernos de Ciência & Tecnologia, Brasília*, v. 32, n. 1/2, p. 185-203, jan./ago. 2015

MISHRA, A.; NAUTIYA, C.S. Functional diversity of the microbial community in the rhizosphere of chickpea grown in diesel fuel-spiked soil amended with *Trichoderma reesei*



using sole-carbon-source utilization profiles. *World J Microbiol Biotechnol*, v. 25, p. 1175–1180, 2009. DOI 10.1007/s11274-009-9998-1

MOREIRA, E. D. S. In: \_\_\_\_\_. Produtividade e Valor nutritivo de *Urochloa brizantha* cv. Piatã e Qualidade do Solo em Sistemas Silvopastoris na Região Central de Minas Gerais. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2018. cap. 2, p. 58.

MOREIRA, E. D. S. In: \_\_\_\_\_. Produtividade e Valor nutritivo de *Urochloa brizantha* cv. Piatã e Qualidade do Solo em Sistemas Silvopastoris na Região Central de Minas Gerais. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2018. cap. 3, p. 97.

MOREIRA, E. D. S.; GONTIJO NETO, M. M.; LANA, Â. M. Q.; BORGHI, E.; SANTOS, C. A. dos; ALVARENGA, R. C.; VIANA, M. C. M. Eficiência produtiva e atributos agronômicos de milho em sistema integração lavoura-pecuária-floresta. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 53, n.4, abril 2018. DOI: 10.1590/S0100-204X201800040000x

MUNIZ, L. C.; MADARI, B. E.; TROVO, J. B. de F.; CANTANHÊDE, I. S. de L.; MACHADO, P. L. O. DE A.; COBUCCI, T.; FRANÇA, A. F. de S. Soil biological attributes in pastures of different ages in a crop- livestock integrated system *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.46, n.10, p.1262-1268, out. 2011.

MUYZER, G. DGGE/TGGE a method for identifying genes from natural ecosystems. *Current Opinion in Microbiology*, London, v. 2, n. 3, p. 317-322, June 1999.

MUYZER, G.; SMALLA, K. Application of denaturing gel electrophoresis (DGGE) and temperature gradient gel electrophoresis (TGGE) in microbial ecology. *Antonie van Leeuwenhoek*, Dordrecht, v. 73, n. 1, p. 127-141, Jan. 1998.

MUYZER, G., DE WAAL, E.C.; UITTERLINDEN, A.G. Profiling of complex microbial populations by denaturing gradient gel electrophoresis analysis of polymerase chain reaction-amplified genes coding for 16S rRNA. *Appl Environ Microbiol*. March; v. 59, n. 3, p. 695-700, 1993.

NAHAS, E. Microrganismos do solo produtores de fosfatases em diferentes sistemas agrícolas. *Bragantia*, Campinas, v. 61, n. 3, 267-275, 2002.

OLIVEIRA, B. DA S.; CARVALHO, M. A. C. de; WRUCK, A. L. F. J.; DALLACORT, R. Atributos biológicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, na região amazônica. *REVENG Engenharia na agricultura, viçosa - MG*, v.23 n.5, 448-456p., 2015. Disponível em: <http://www.seer.ufv.br/seer/index.php/reveng/article/view/534/404>. Acesso em 13 de fevereiro de 2018.

PACIULLO, D.S.C.; GOMIDE, C.A. de M.; MULLER, M. D. et al. Potencial de produção e utilização de forragens em sistemas silvipastoris. In: Intensificação da produção animal em pastagens. 2014, Anais do 1º simpósio de pecuária integrada. Embrapa: Brasília, 2014. p. 51-82.

PEIXOTO, R.S.; CHAER, G.M.; FRANCO, N.; REIS JUNIOR, F.B.; MENDES, I.C. & ROSADO, A.S. A decade of land use contributes to changes in the chemistry, biochemistry and bacterial community structures of soils in the Cerrado. *Antonie van Leeuwenhoek*, v. 98, p. 403-413, 2010.

PEZARICO C.R., VITORINO A.C.T., MERCANTE F.M. and DANIEL O. Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais. *Revista Ciências Agrárias*, v. 56, n.1, p. 40-47, 2013. DOI: 10.4322/rca.2013.004

REIS, J. B. R. da S.; JESUS, A. M. de; OLIVEIRA JR, J. L. Solarização do solo na microbiota e no desenvolvimento inicial do abacaxizeiro com diferentes lâminas de irrigação. *Caderno de Ciências Agrárias*, v. 9, n. 1, p. 19-30, 2017. ISSN 2447-6218

RODRIGUES, R. C.; ARAÚJO, R. A.; COSTA, C. S.; LIMA, A. J. T.; OLIVEIRA, M. E.; CUTRIM JR., J. A. A.; SANTOS, F. N. S.; ARAÚJO, J. S.; SANTOS, V. M.; ARAÚJO, A. S. F. Soil microbial biomass in an agroforestry system of Northeast Brazil. *Tropical Grasslands – Forrajes Tropicales*. v. 3, p. 41-48, 2015. DOI: 10.17138/TGFT(3)41-48

RODRIGUES, B. N.; PASSINI, T.; FERREIRA, A. G.. Research on allelopathy in Brazil. In: Allelopathy Update- International Status. v.1. Ed. Narwal S. S. *Science Publish, Inc. U. S. A.* p. 307-323, 1999.

ROSCOE, R.; MACHADO, P. L. O. A. *Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica*. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2002. 86p.

SAMBROOK, J.; FRITSCH, E.F.; MANIATIS, T. Molecular cloning: a laboratory manual. 2nd ed. Cold Spring Harbor, NY: Cold Spring Harbor Laboratory Press, 1989. 3v.

SANTOS, H. G. dos.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. Á. de.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. de. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3 ed. rev. ampl. Brasília, DF: *Embrapa*, 2013. 353 p.

SILVA, A. R.; SALES, A.; VELOSO, C. A. C. Atributos físicos e disponibilidade de carbono do solo em sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF), Homogêneo e Santa Fé, no estado do Pará, Brasil. *Agropecuária Técnica*, 31:96-104, 2016.

SILVA, E. E. da; AZEVEDO, P. H. S.; DE-POLLI, H. Determinação do carbono da biomassa microbiana do solo (BMS-C). Seropédica: *Embrapa Agrobiologia*, 2007. 6 p. (Embrapa Agrobiologia. Comunicado Técnico, 98).

SIMÃO, E. de P.; GONTIJO NETO, M. M.; QUEIROZ, L. R.; ALVARENGA, R. C.; VIANA, M. C. M.; SILVA, I. H. S. da. Efeito da Distância Entre as Linhas da Cultura e o Renque de Eucalipto Sobre o Rendimento de Grãos e Forragem do Consórcio Milho mais Braquiária *Ruziziensis*. In: XXIX CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, Águas de Lindóia, p. 2262-2267. 2012.

SOUZA, L. M. de; SCHLEMMER, F.; ALENCAR, P. M.; LOPES, A. A. de C.; PASSOS, S. R.; XAVIER, G. R.; FERNANDES, M. F.; MENDES, I. de C.; REIS JUNIOR, F. B. dos. Estrutura metabólica e genética de comunidades bacterianas em solo de cerrado sob diferentes manejos. *Pesquisa agropecuária brasileira*, Brasília, v.47, n.2, p.269-276, fev. 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/pab/v47n2/v47n2a16.pdf>. Acesso em 08 de janeiro de 2018.

STADDON, W. J.; LUC, N. G. W.; DUCHESNE, C.; COLOMB, C. A.; TREVORS, J. T. Soil microbial diversity and community structure across a climatic gradient in western Canada. *Biodiversity and Conservation*, v.7, p.1081-1092, 1998.

STIEVEN, A. C. *Integração lavoura-pecuária-floresta: caracterização química e microbiológica do solo*. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) Cuiabá. Universidade Federal de Mato Grosso, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2012.

STIEVEN, A. C.; OLIVEIRA, D. A.; SANTOS, J. O.; WRUCK, F. J.; CAMPOS, D. T. da S. Impacts of integrated crop-livestock-forest on microbiological indicators of soil. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias* ISSN (on line) 1981-0997 v.9, n.1, p.53-58, 2014.

TABATABAI, M. A. Soil Enzymes. In: *Methods of soil analysis: part 2: microbiological and biochemical properties*. Madison: SSS. Ap.775 – 833, 1994.

TIAN, Q.; HE, H.; CHENG, W.; BAI, Z.; WANG, Y.; ZHANG, X. Factors controlling soil organic carbon stability along a temperate forest altitudinal gradient. *Scientific Reports*, v.6, p.18783. DOI: 10.1038/srep18783

TIESSEN, H.; STEWART, J.W.B.; COLE, C.V. Pathways of phosphorus transformations in soils of differing pedogenesis. *Soil Science Society of America. Journal*, Madison, v.48, n.2, p.853-858, Mar./Apr. 1984.

VAN SOEST, P. J. *Ecologia nutricional dos ruminantes*. 2. ed. Rio de Janeiro: Constock Publishing Associates. 1994. 476 p.

YOUNG, A. *Agroforestry for soil conservation*. 4.ed. Wallingford, CAB International, 1994. 276 p.

ZAIA, F.C.; GAMA-RODRIGUES, A. C. da; GAMA-RODRIGUES, E. F. da Formas de fósforo no solo sob leguminosas florestais, floresta secundária e pastagem no norte fluminense. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32:1191-1197, 2008.

ZAK, J.C., WILLIG, M.R., MOORHEAD, D.L., WILDMAN, H.G. Functional diversity of microbial communities: a quantitative approach. *Soil Biol. Biochem.* 26, 1101–1108. 1994

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os sistemas silvipastoris têm sido apontados como uma opção sustentável para o equilíbrio no âmbito econômico, social e ambiental da produção agropecuária brasileira. Embora, os resultados desta pesquisa nos sistemas silvipastoris (SSPs) indicam uma redução na produtividade da forrageira nestes sistemas de produção, gerando a expectativa futura de que a comercialização do componente florestal compense a perda de receita da produção animal.

No manejo de SSPs o desbaste é necessário para melhorar a eficiência de entrada de radiação fotossinteticamente ativa incidente (RFAi) para as plantas no sub-bosque dos sistemas silvipastoris. Não obstante, a redução da metade das árvores eucalipto (333 para 166 árv. ha<sup>-1</sup>) consorciado com capim-piatã não alterou a altura do dossel da forrageira entre os sistemas de mesmo tempo de maturação. E para a produção forrageira, o desbaste de 50% das árvores no quarto ano e implantação não ocasionou a esperada redução da pressão de competição exercida pelo eucalipto sobre a forrageira.

Foi constatado que a produção de forragem em sistema silvipastoril, no espaçamento 15 x 3 m, é condicionada a radiação fotossinteticamente ativa incidente reflexo. As menores densidades arbóreas nestes sistemas correspondeu em produções próximas a 51% da produção a pleno sol enquanto as maiores densidades apenas 43% desta.

Ressalta-se que a baixa incidência luminosa influencia positivamente no valor nutricional da pastagem, com incrementos no teor de proteína bruta e redução dos teores de fibra em detergente neutro e em detergente ácido e aumento da digestibilidade da forrageira em questão. Em virtude da redução significativa da RFAi e pela competição por água e nutrientes entre o componente arbóreo e forrageiro, se comparada a pastagem a pleno sol.

O sombreamento propicia alterações nas características produtivas e de valor nutritivo da forrageira estudada, no entanto, essas modificações dependem, sobretudo, da espécie arbórea, nível de sombreamento e da capacidade da planta em adaptar-se ao ambiente. A forrageira *U. brizantha* Piatã mostrou-se apta para consorciação com eucalipto e adaptação em sistemas silvipastoris.

Os resultados ambientais encontrados evidenciaram a capacidade de incrementar os estoques de carbono nestes sistemas silvipastoris, assim como em pastagens a pleno sol, podendo mitigar emissões de gases de efeito estufa. Todavia, a conversão da vegetação nativa em pastagem a pleno sol e/ou sistemas silvipastoris em Sete Lagoas, MG, promoveram aumento nos estoques de C no solo, notadamente mais expressiva nestes sistemas cultivados com maior maturidade (tempo de implantação).

Portanto, os ganhos em serviços ecossistêmicos nestes sistemas silvipastoris foram superiores aos ganhos produtivos para espécie forrageira *U. brizantha* Piatã quando consorciada ao eucalipto, se comparado ao pleno sol. O sistema radicular profundo do eucalipto absorve nutrientes de camadas inacessíveis à forrageira e favorece a ciclagem de nutrientes. O eucalipto, por meio da deposição da liteira contribui para o acréscimo carbono orgânica no solo e armazenamento desse elemento.

Desse modo, os sistemas de uso silvipastoris contribuíram ainda para melhoria dos atributos biológicos do solo com aumento nos valores de atividades microbianas e

metabólicas da microbiota. A estrutura genética e diversidade funcional foram evidentes em favorecer a comunidade de microrganismos nos solos sob estes sistemas, portanto, aumenta a qualidade biológica do solo influenciada pelo maior tempo estabelecido (sete anos).

Os resultados observados são conclusivos em perceber a complexidade dos sistemas de produção integrados, em razão do manejo dos diferentes componentes na mesma área e ao mesmo tempo. De tal modo, é preciso mais estudos para se entender os diversos fatores que envolvem estes sistemas e as interações interespecíficas presente, e estimar estratégias para o manejo adequado visando maior desempenho animal e aperfeiçoar influências do componente arbóreo sobre o forrageiro.

Além do que, há demanda de mais políticas públicas de linhas de crédito específicas para a atividade, melhorar a qualificação técnica e gerar adaptação e revisão dos critérios para adoção e manejo de sistemas integrados pelos produtores, de modo que os incentivem a implantação desses sistemas.

Destarte, o trabalho permitiu vivenciar o campo, formação acadêmica, além de evidenciar a importância da pesquisa a fim de gerar sistemas cientificamente testados para a adoção pelos produtores, e conhecimentos sobre o desafio da expansão de sistemas alternativos que exaltem a sustentabilidade da produção e alterem o modelo convencional da pecuária brasileira.

## ANEXO

**Anexo 1** – Análise de correlação de Pearson entre a radiação fotossinteticamente ativa e os parâmetros agrônômicos e bromatológicos avaliados

	RFA	ALT	BFOR	%F	%C	%MM	RFC	FDAPi	FDNPi	DIGPi	PBPi	CCPI
ALT	0,13149 <sup>ns</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BFOR	0,87986**	0,05269 <sup>ns</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
%F	0,1109 <sup>ns</sup>	0,33375 <sup>ns</sup>	-0,1748 <sup>ns</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
%C	-0,1365 <sup>ns</sup>	-0,1444 <sup>ns</sup>	-0,0528 <sup>ns</sup>	-0,8570**	-	-	-	-	-	-	-	-
%MM	0,62091**	-0,2297 <sup>ns</sup>	0,56197**	0,01557 <sup>ns</sup>	-0,51457*	-	-	-	-	-	-	-
RFC	0,10733 <sup>ns</sup>	0,07152 <sup>ns</sup>	-0,0081 <sup>ns</sup>	0,80947**	-0,9019**	0,40935 <sup>ns</sup>	-	-	-	-	-	-
FDAPi	0,494464*	0,35409 <sup>ns</sup>	0,39117 <sup>ns</sup>	0,21561 <sup>ns</sup>	-0,1132 <sup>ns</sup>	-0,0028 <sup>ns</sup>	0,17894 <sup>ns</sup>	-	-	-	-	-
FDNPi	0,68063**	0,33783 <sup>ns</sup>	0,550608*	0,27024 <sup>ns</sup>	-0,2885 <sup>ns</sup>	0,24904 <sup>ns</sup>	0,30262 <sup>ns</sup>	0,75604**	-	-	-	-
DIGPi	-0,51527*	-0,3859 <sup>ns</sup>	-0,4311 <sup>ns</sup>	-0,1857 <sup>ns</sup>	0,24639 <sup>ns</sup>	-0,2432 <sup>ns</sup>	-0,2953 <sup>ns</sup>	-0,52058*	-0,8194**	-	-	-
PBPi	-0,6940**	-0,4126 <sup>ns</sup>	-0,53322*	0,4307 <sup>ns</sup>	-0,515700*	-0,4034 <sup>ns</sup>	-0,49046*	-0,6233**	-0,9373**	0,80097	-	-
CCPI	-0,7155**	-0,3472 <sup>ns</sup>	-0,6222**	-0,2385 <sup>ns</sup>	0,30128 <sup>ns</sup>	-0,3314 <sup>ns</sup>	-0,3113 <sup>ns</sup>	-0,6294**	-0,9681**	0,85017**	0,94007**	-
HEMIPi	0,44266 <sup>ns</sup>	0,10574 <sup>ns</sup>	0,28522 <sup>ns</sup>	0,23517 <sup>ns</sup>	-0,3117 <sup>ns</sup>	0,26410 <sup>ns</sup>	0,26205 <sup>ns</sup>	0,24393 <sup>ns</sup>	0,76822**	-0,6518**	-0,7610**	-0,7519**
FDAF	0,498919*	0,12086 <sup>ns</sup>	0,39678 <sup>ns</sup>	0,473347*	-0,7095**	0,65883**	0,66773**	0,36876 <sup>ns</sup>	0,487494*	-0,328 <sup>ns</sup>	-0,6505**	-0,52489*
FDNF	0,38457 <sup>ns</sup>	0,04328 <sup>ns</sup>	0,27904 <sup>ns</sup>	0,41329 <sup>ns</sup>	-0,6303**	0,57556**	0,56813**	0,26276 <sup>ns</sup>	0,492631*	-0,329 <sup>ns</sup>	-0,6381**	-0,53680*
DIGF	-0,6797**	-0,2706 <sup>ns</sup>	-0,52019*	-0,45031*	0,59367**	-0,52774*	-0,54178*	-0,48700*	-0,6824**	0,511830*	0,74310**	0,66607**
PBF	-0,6881**	-0,3688 <sup>ns</sup>	-0,51087*	-0,53342*	0,64944**	-0,49703*	-0,5866**	-0,54507*	-0,8175**	0,59074**	0,91988**	0,81349**

ns Não-Significativo, \*\* Significativo a 1% de probabilidade, \* Significativo a 5% de probabilidade.

ALT – Altura do dossel forrageiro (m); BFOR – biomassa da forragem disponível (Kg ha<sup>-1</sup>); %F – percentagem de folha; %C – percentagem de colmo; %MM – percentagem de material morto; RFC – relação folha colmo; FDAPi – fibra em detergente ácido da planta inteira; FDNPi – fibra em detergente neutro da planta inteira; DIGPi – Digestibilidade da planta inteira; PBPi – proteína bruta da planta inteira; CCPI – conteúdo de cellulose da planta inteira; HEMIPi – hemicellulose da planta inteira; FDAF – fibra em detergente ácido da folha; FDNF – fibra em detergente neutro da folha; DIGF – Digestibilidade da folha; PBF – proteína bruta da folha