

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

**ASPECTOS AMBIENTAIS, PARÂMETROS PRODUTIVOS E
NUTRICIONAIS DA *Urochloa decumbens* em SISTEMA
SILVIPASTORIL COM DIFERENTES ARRANJOS**

CLAUDINEI ALVES DOS SANTOS

Belo Horizonte
Escola de Veterinária - UFMG
2018

Claudinei Alves dos Santos

**ASPECTOS AMBIENTAIS, PARÂMETROS PRODUTIVOS E
NUTRICIONAIS DA UROCHLOA DECUMBENS EM SISTEMA
SILVIPASTORIL COM DIFERENTES ARRANJOS**

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 Doutor em Zootecnia

Área de concentração: Produção Animal
Orientadora: Profª. Ângela Maria Quintão Lana
Co-orientador: Maria Celuta Machado Viana
Co-orientador: Prof. Lúcio Carlos Gonçalves

Belo Horizonte

Escola de Veterinária - UFMG

2018

S237a Santos, Claudinei Alves dos, 1985-
Aspectos ambientais, parâmetros produtivos e nutricionais da Urochloa decumbens em sistema silvipastoril com diferentes arranjos / Claudinei Alves dos Santos. – 2018.
119 p. : il.

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

1. Pastagens – Teses. 2. Pastagens – Composição – Teses. 3. Pastagens – Aspectos ambientais – Teses. 4. Produtividade – Teses. I. Lana, Ângela Maria Quintão. II. Viana, Maria Celuta Machado. III. Gonçalves, Lúcio Carlos. IV. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Veterinária. V. Título.

CDD – 633.2

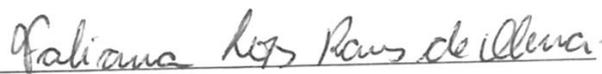
TESE defendida e aprovada em 31 de janeiro de 2018, pela Comissão Examinadora composta pelos seguintes membros:



Prof.^a. Ângela Maria Quintão Lana



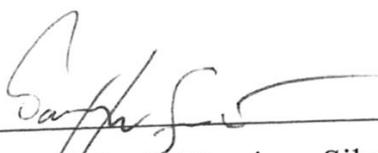
Dr. Miguel Marques Gontijo Neto



Dra. Fabiana Lopes Ramos de Oliveira



Prof.^o. Diogo Gonzaga Jayme



Prof.^o. Paulo Henrique Silva Guimarães

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito.

Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”.

Marthin Luther King

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, por estar presente em cada momento da minha vida, pelas oportunidades e pessoas que colocou em meu caminho.

Aos meus pais Florentino e Maria Derly e meus irmãos pelo incentivo, companherismo e por entender minha ausência em muitos momentos.

A minha orientadora, Doutora Ângela Maria Quintão Lana, por toda dedicação, paciência, cobrança e amizade, as quais me fizeram amadurecer durante o período de trabalho.

A Dra. Maria Celuta Machado Viana, e ao Dr. Lúcio Carlos Gonçalves pela coorientação, ensinamentos e grande contribuição na elaboração desta tese.

A EPAMIG pela estrutura, campo experimental e suporte técnico na condução do experimento, em especial aos técnicos Adelmo, Elizabeth e Maristela e dos estagiários Natalino e Warley.

A EMBRAPA pela parceria e colaboração ao longo do período experimental, ao Dr. Miguel Marques Gontijo Neto.

Ao Laboratório de Nutrição Animal da Escola de veterinária e aos técnicos Toninho, Fabiana e Gabriela.

Aos amigos e companheiros de república Paulo Henrique e Pedro Henrique.

Aos amigos e colaboradores do GPAS: Alan, Júlia, Maria Clara, Tânia, Joelma e, em especial a Daphinn pela contribuição na condução do experimento.

Ao Range Cattle Research and Education Center e a University of Florida pela oportunidade de realizar meu doutorado sandwich, em especial a Dra. Maria Lúcia Silveira e Cindy e Yanyan pelo ensinamento e paciência.

Aos brasileiros em ONA Suzana, Bianca, Marcelo, João, José, Hiran, Juliana e Jhony.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	15
	CAPÍTULO 1 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
1.1	Degradação de pastagens	17
1.2	Sistemas agroflorestais	18
1.2.1	Sistema silvipastoril	20
1.2.2	Utilização do gênero <i>Urochloa</i> em sistema silvipastoril	23
1.3	A dinâmica do carbono no sistema solo-planta	26
1.3.1	Armazenamento de carbono pelo solo	27
1.3.2	Estoques de carbono em áreas de pastagem	30
1.4	Considerações finais	32
1.5	Referências	32
	CAPÍTULO 2 - INFLUÊNCIA DE ARRANJOS E CULTIVARES DE EUCALIPTO NA PRODUTIVIDADE DO CAPIM <i>Urochloa decumbens</i> EM SISTEMA SILVIPASTORIL EM REGIÃO DO CERRADO	41
2.1	Resumo	41
2.2	Introdução	41
2.3	Material e métodos	42
2.3.1	Caracterização da área experimental	42
2.3.2	Histórico da área experimental	44
2.3.3	Descrição dos tratamentos	44
2.3.4	Coleta de amostras da forrageira	45
2.3.5	Análises estatísticas	47
2.4	Resultados	49
2.5	Discussão	55
2.6	Conclusão	60
2.7	Referências	60
	CAPÍTULO 3 - INFLUÊNCIA DE ARRANJOS E CULTIVARES DE EUCALIPTO NA QUALIDADE DO CAPIM <i>Urochloa decumbens</i> EM SISTEMA SILVIPASTORIL EM REGIÃO DO CERRADO	63
3.1	Resumo	63
3.2	Introdução	63
3.3	Material e métodos	64
3.3.1	Caracterização da área experimental	64
3.3.2	Histórico da área experimental	65
3.3.3	Descrição dos tratamentos	66
3.3.4	Coleta de amostras da forrageira	66
3.3.5	Análises bromatológicas	67
3.3.6	Análises estatísticas	67
3.4	Resultados	69
3.5	Discussão	76
3.6	Conclusão	80
3.7	Referências	81

CAPÍTULO 4 – ATRIBUÍDOS QUÍMICOS DO SOLO E ESTOQUE DE CARBONO EM SISTEMA SILVIPASTORIL COM <i>Urochloa decumbens</i> COM DIFERENTES ARRANJOS ESPACIAIS DE <i>Eucalyptus</i> spp.		84
4.1	Resumo	84
4.2	Introdução	84
4.3	Material e métodos	85
4.3.1	Caracterização da área experimental	85
4.3.2	Descrição dos Tratamentos	86
4.3.3	Coleta de amostras de solo e liteira	87
4.3.4	Análise estatística	88
4.4	Resultados	89
4.5	Discussão	92
4.6	Conclusão	96
4.7	Referências	97
CAPÍTULO 5 - RADIAÇÃO FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA NO SUB-BOSQUE E ÍNDICE DE AREA FOLIAR DE <i>Urochloa decumbens</i> EM SISTEMA SILVIPASTORIL COM DIFERENTES ARRANJOS E CULTIVARES DE EUCALIPTO		100
5.1	Resumo	100
5.2	Introdução	100
5.3	Material e métodos	101
5.3.1	Caracterização da área experimental	101
5.3.2	Histórico da área experimental	102
5.3.3	Descrição dos tratamentos	103
5.3.4	Interceptação luminosa e índice de área foliar	103
5.3.5	Coleta de amostras da forragem	104
5.3.6	Análises estatísticas	105
5.4	Resultados	106
5.5	Discussão	112
5.6	Conclusão	116
5.7	Referências	116
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	119

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2 - INFLUÊNCIA DE ARRANJOS E CULTIVARES DE EUCALIPTO NA PRODUTIVIDADE DO CAPIM *Urochloa decumbens* EM SISTEMA SILVIPASTORIL EM REGIÃO DO CERRADO

Quadro 1 - Características químicas do solo da área experimental nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm	44
Quadro 2 - Contrastes ortogonais para comparação entre os arranjos e cultivares e as pastagens em monocultivo adubada e sem adubação	49
Tabela 1 – Participação da lâmina foliar na matéria seca total (%) e relação folha colmo de <i>Urochloa decumbens</i> em sistema silvipastoril com <i>Eucalyptus</i> spp. sob diferentes arranjos espaciais nos anos agrícolas de 2013/2014, 2014/2015 e 2015/2016.....	49
Tabela 2 – Porcentagem de colmo e material senescente (% da MS total) de <i>Urochloa decumbens</i> em sistema silvipastoril com <i>Eucalyptus</i> spp. sob diferentes arranjos espaciais...50	
Tabela 3 – Matéria seca de colmo e material senescente (% da MS total) e inflorescência de <i>Urochloa decumbens</i> em sistema silvipastoril com <i>Eucalyptus</i> spp. nos anos agrícolas de 2013/2014, 2014/2015 e 2015/2016	50
Tabela 4 – Estimativa dos contrastes entre a pastagem em monocultivo adubada e sem adubação em função dos arranjos de eucalipto para a relação folha: colmo, teor de folhas e de material senescente na matéria seca total de <i>Urochloa decumbens</i> em sistema silvipastoril...51	
Tabela 5 – Estimativa dos contrastes entre a pastagem em monocultivo adubada e sem adubação com o sistema silvipastoril para os teores de colmo na matéria seca total de <i>Urochloa decumbens</i>	52
Tabela 6 – Altura do dossel forrageiro (cm) de <i>Urochloa decumbens</i> em sistema silvipastoril com <i>Eucalyptus</i> spp. sob diferentes arranjos espaciais nos anos agrícolas de 2014/2015 e 2015/2016	53
Tabela 7 – Produtividade (kg MS ha ⁻¹) e altura do dossel forrageiro (cm) de <i>Urochloa decumbens</i> sob condições de sol pleno.....	54
Tabela 8 – Estimativa dos contrastes entre a pastagem em monocultivo adubada e sem adubação em função dos arranjos de eucalipto para a produtividade por corte (kg MS haá ⁻¹) <i>Urochloa decumbens</i> em sistema silvipastoril	54

CAPÍTULO 3 - INFLUÊNCIA DE ARRANJOS E CULTIVARES DE EUCALIPTO NA QUALIDADE DO CAPIM *Urochloa decumbens* EM SISTEMA SILVIPASTORIL EM REGIÃO DO CERRADO

Quadro 1 - Características químicas do solo da área experimental nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm	65
Quadro 2 - Contrastes ortogonais para comparação entre os arranjos e cultivares e as pastagens em monocultivo adubada e sem adubação	69
Tabela 1 – Composição bromatológica com base na matéria seca para planta inteira, lâmina foliar e colmo de <i>Urochloa decumbens</i> em sistema silvipastoril nos arranjos de eucalipto	70
Tabela 2 – Composição bromatológica com base na matéria seca para planta inteira, lâmina foliar e colmo de <i>Urochloa decumbens</i> em sistema silvipastoril com diferentes cultivares de eucalipto	71
Tabela 3 – Composição bromatológica com base na matéria seca para planta inteira, lâmina foliar e colmo de <i>Urochloa decumbens</i> em sistema silvipastoril com <i>Eucalyptus</i> sp. nos ciclos de pastejo	72

Tabela 4 – Teores de proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN) e ácido (FDA) e de celulose do colmo de <i>Urochloa decumbens</i> em sistema silvipastoril com <i>Eucalyptus</i> sp. nos ciclos de pastejo	73
Tabela 5 – Matéria seca, matéria mineral (MM), proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), hemicelulose (HEM), celulose (CEL) e lignina em <i>Urochloa decumbens</i> em sistema silvipastoril com <i>Eucalyptus</i> sp. em diferentes cortes.....	74
Tabela 6 - Estimativa dos contrastes entre pastagem em monocultivo adubada e arranjos de eucalipto para a composição bromatológica de <i>Urochloa decumbens</i>	74
Tabela 7 - Estimativa dos contrastes entre a pastagem em monocultivo sem adubação em função dos arranjos de eucalipto para a composição bromatológica de <i>Urochloa decumbens</i>	75
Tabela 8 – Estimativas de contrastes da média dos sistemas silvipastoris (SSP) e pastagem monocultivo adubada (P1) ou pastagem monocultivo sem adubação (P2) para a composição bromatológica da lâmina foliar de <i>Urochloa decumbens</i>	75

CAPÍTULO 4 – ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E ESTOQUE DE CARBONO EM SISTEMA SILVIPASTORIL COM *Urochloa decumbens* COM DIFERENTES ARRANJOS ESPACIAIS DE *Eucalyptus* spp.

Quadro 1 - Características químicas do solo da área experimental nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm	86
Tabela 1 - Composição química média do solo na camada de 0-40cm em sistema silvipastoril de <i>Urochloa decumbens</i> e <i>Eucalyptus</i> spp. sob diferentes arranjos espaciais.....	90
Tabela 2 - Composição química média do solo na camada de 0-40cm em sistema silvipastoril de <i>Urochloa decumbens</i> e <i>Eucalyptus</i> spp. em função do local de amostragem	90
Tabela 3 - Composição química média do solo na camada de 0-40cm em sistema silvipastoril de <i>Urochloa decumbens</i> e <i>Eucalyptus</i> spp. nos anos de 2011 e 2015.....	91
Tabela 4 - Composição química do solo em sistema silvipastoril de <i>Urochloa decumbens</i> e <i>Eucalyptus</i> spp. nos anos de 2011 e 2015 nas profundidades de 0 -20cm e 20 a 40cm.....	92
Tabela 5 - Capacidade de troca catiônica (CTC) efetiva e potencial (a pH 7) no solo em sistema silvipastoril de <i>Urochloa decumbens</i> e <i>Eucalyptus</i> spp. nos anos de 2011 e 2015 nas profundidades de 0 -20cm e 20 a 40cm.....	92

CAPÍTULO 5 - RADIAÇÃO FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA NO SUB-BOSQUE E ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR DE *Urochloa decumbens* EM SISTEMA SILVIPASTORIL COM DIFERENTES ARRANJOS E CULTIVARES DE EUCALIPTO

Quadro 1 - Contrastes ortogonais para comparação entre os arranjos e cultivares e as pastagens em monocultivo adubada e sem adubação	106
Tabela 1 - Radiação fotossinteticamente ativa incidente (RFAi) ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) no dossel forrageiro em pastagem de <i>Urochloa decumbens</i> em monocultura (pleno sol) e em sistema silvipastoril	106
Tabela 2 - Radiação fotossinteticamente ativa incidente (RFAi) ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) no dossel forrageiro em pastagem de <i>Urochloa decumbens</i> e intensidade do sombreamento (%) em sistema silvipastoril com <i>Eucalyptus</i> spp. sob diferentes arranjos espaciais conforme a estação climática.....	107
Tabela 3 - Radiação fotossinteticamente ativa incidente (RFAi) ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) no dossel forrageiro em pastagem de <i>Urochloa decumbens</i> e intensidade do sombreamento (%) em	

sistema silvipastoril com <i>Eucalyptus</i> spp. com diferentes arranjos espaciais na entrelinha e sob a copa da arbórea	108
Tabela 4 - Radiação fotossinteticamente ativa incidente (RFAi) ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) no dossel forrageiro em pastagem de <i>Urochloa decumbens</i> e intensidade do sombreamento (%) em sistema silvipastoril com diferentes cultivares <i>Eucalyptus</i> spp.	108
Tabela 5 – Índice de área foliar (IAF) em <i>Urochloa decumbens</i> em sistema silvipastoril com <i>Eucalyptus</i> spp. com diferentes arranjos.....	109
Tabela 6 – Estimativa dos contrastes entre a pastagem em monocultivo adubada e sem adubação em função dos arranjos de eucalipto para o índice de área foliar (IAF) de <i>Urochloa decumbens</i> em sistema silvipastoril com <i>Eucalyptus</i> spp.....	109
Tabela 7 – Intercepção luminosa pelo dossel forrageiro (IL) em <i>Urochloa decumbens</i> em sistema silvipastoril com <i>Eucalyptus</i> spp. com diferentes arranjos	110
Tabela 8 – Produção de matéria seca (kg ha^{-1}) de <i>Urochloa decumbens</i> em sistema silvipastoril com diferentes arranjos espaciais e cultivares de <i>Eucalyptus</i> spp.....	111
Tabela 9 – Produção de matéria seca (kg ha^{-1}) de <i>Urochloa decumbens</i> em sistema silvipastoril com diferentes arranjos espaciais e cultivares de <i>Eucalyptus</i> spp.....	111
Tabela 10 – Correlação dos parâmetros de luminosidade, índice de área foliar e produtividade da forrageira.....	112

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 2 - INFLUÊNCIA DE ARRANJOS E CULTIVARES DE EUCALIPTO NA PRODUTIVIDADE DO CAPIM *Urochloa decumbens* EM SISTEMA SILVIPASTORIL EM REGIÃO DO CERRADO

- Figura 1** – Precipitação pluviométrica, temperatura máxima, mínima e média mensais ao longo o período experimental e histórico climatológico da área.....44
- Figura 2** – Esquema de coleta de amostras de forragem no sistema silvipastoril nos arranjos (3x2) + 20m (a), (2x2) + 9m e 9x2m (b)46
- Figura 3** – Produtividade média de matéria verde (PMV) e matéria seca (PMS) (kg ha⁻¹) de *Urochloa decumbens* sob sistema silvipastoril em função do arranjo (a), cultivar de eucalipto (b), ano agrícola (c) e corte (d)52
- Figura 4** – Altura do dossel forrageiro (cm) de *Urochloa decumbens* sob sistema silvipastoril em função do arranjo (a) e cultivar de eucalipto (b).....53

CAPÍTULO 3 - INFLUÊNCIA DE ARRANJOS E CULTIVARES DE EUCALIPTO NA QUALIDADE DO CAPIM *Urochloa decumbens* EM SISTEMA SILVIPASTORIL EM REGIÃO DO CERRADO

- Figura 1** – Precipitação pluviométrica, temperatura máxima (Tmax), média (Tmed), mínima (Tmin) mensais durante o período experimental65

CAPÍTULO 4 – ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E ESTOQUE DE CARBONO EM SISTEMA SILVIPASTORIL COM *Urochloa decumbens* COM DIFERENTES ARRANJOS ESPACIAIS DE *Eucalyptus* spp.

- Figura 1** – Esquema de coleta de amostras de solo e liteira no sistema silvipastoril nos arranjos (3x2) + 20m (a), (2x2) + 9m e 9x2m (b)87
- Figura 2** – Biomassa de liteira (g de matéria seca.m⁻²) em sistema silvipastoril sob a copa do eucalipto (lateral) e no centro da parcela, nos anos de 2014 e 2016.89

CAPÍTULO 5 - RADIAÇÃO FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA NO SUB-BOSQUE E ÍNDICE DE AREA FOLIAR DE *Urochloa decumbens* EM SISTEMA SILVIPASTORIL COM DIFERENTES ARRANJOS E CULTIVARES DE EUCALIPTO

- Figura 1** – Precipitação pluviométrica, temperatura máxima, mínima e média mensais ao longo o período experimental102
- Figura 2** – Mensuração da radiação fotossinteticamente ativa via SunScan Canopy Analysis System104

LISTA DE ABREVIATURAS

Al	Alumínio
°C	Graus Célsius
C	Carbono
Ca	Cálcio
C ₃	Plantas que utilizam o ciclo de Calvin-Benson para fotossíntese
C ₄	Plantas que utilizam o ciclo de Hatch-Slack para fotossíntese
CH ₄	Metano
CO	Carbono orgânico
COS	Carbono orgânico do solo
CO ₂	Dióxido de carbono
CO ₂ eq	Dióxido de carbono equivalente
CNPMS	Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo
CTC	Capacidade de troca catiônica
EPAMIG	Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
FDA	Fibra em detergente ácido
FDN	Fibra em detergente neutro
GEE	Gases de efeito estufa
H	Hidrogênio
ha	Hectare (10.000 m ²)
IAF	Índice de área foliar
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
K	Potássio
Mg	Megagrama (10 ⁶ g)
mm	Milímetros cúbicos de precipitação
MM	Matéria mineral
MO	Matéria orgânica
MOS	Matéria orgânica do solo
MtCO ₂ eq	Megatonelada de Dióxido de Carbono equivalente (10 ¹⁵ g)
MS	Matéria seca
N	Nitrogênio
P	Fósforo
PB	Proteína bruta
Pg	Petagrama (10 ¹⁵ g)
RFA	Radiação fotossinteticamente ativa
RFAi	Radiação fotossinteticamente ativa incidente
RFA _t	Radiação fotossinteticamente ativa transmitida
SAF	Sistemas agroflorestais
SNK	Student Newman Keuls
SSP	Sistema silvipastoril
UA.ha ⁻¹ .ano ⁻¹	Unidade animal por hectare

Aspectos ambientais, parâmetros produtivos e nutricionais da *Urochloa decumbens* em sistema silvipastoril com diferentes arranjos

RESUMO

O objetivo desse trabalho foi avaliar a produtividade e a composição bromatológica da *Urochloa decumbens*, a luminosidade no sub-bosque e os parâmetros químicos do solo em sistema silvipastoril (SSP) na região do Cerrado. O experimento foi conduzido no Campo Experimental Santa Rita/ Epamig, município de Prudente de Moraes, Estado de Minas Gerais, latitude 19°27'15'' Sul e Longitude 44°09'11'' Oeste. A área experimental foi composta por um SSP em arranjos de fila dupla [(3x2) + 20m e 9x2m] e simples (9x2m) com três cultivares de *Eucalyptus* spp. (GG100, I144 e VM58) implantada em 2008. Como tratamento controle utilizou-se duas pastagens em áreas adjacentes ao SSP, uma manejada com adubação e outra isenta. A produtividade da *U. decumbens* no sistema integrado foi superior no arranjo de (3x2) + 20m. Em relação à pastagem com adubação a produtividade foi inferior em 58,6% [(3x2) + 20m], 85,6% [(2x2) + 9m] e 80,4% (9x2m). A porcentagem de material senescente na matéria seca da forragem foi superior nas duas pastagens sob pleno sol. Maiores teores de proteína e menores de matéria seca, fibra em detergente neutro e em detergente ácido foram obtidos no SSP. A proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), hemicelulose e celulose apresentaram efeito do arranjo para planta inteira. O desempenho da forrageira não variou no SSP em função do cultivar utilizado na integração. Entretanto o índice da área foliar bem como radiação fotossinteticamente ativa foram inferiores no SSP com o cultivar I144. Com relação aos parâmetros químicos do solo não se verificou efeito do arranjo espacial do sistema e do sítio avaliado (centro da parcela ou sob a copa das arbóreas) O estoque de carbono não variou quanto ao arranjo e local na parcela e apresentou incremento de 37,8% entre o terceiro e oitavo ano do SSP.

Palavras-chave: Produtividade, pastagem, composição bromatológica, luminosidade, carbono orgânico, solo

Environmental aspects, productive and nutritional parameters of *Urochloa decumbens* (signalgrass) in silvopastoral system under different arrangements

ABSTRACT

The objective of this paper was to evaluate the productivity and bromatological composition of *Urochloa decumbens* (signalgrass), the luminosity in understory and the chemical parameters of the soil in silvopastoral system (SPS) in Cerrado region. The experiment was carried in the Experimental field of Santa Rita/Epamig in the municipality of Prudente de Morais, Minas Gerais State, latitude 19°27'15" South and longitude 44°09'11" West. The experimental area was composed of a SPS in double line arrangements [(3x2) + 20m and 9x2m] and simple line (9x2m) with three cultivares of *Eucalyptus* spp. (GG100, I144 and VM58) deployed in 2008. As a control treatment, two pastures were used in adjacent areas to the SPS, one with fertilization application and another without. The signalgrass productivity in the SPS was higher in the (3x2) + 20m arrangement. The productivity in the SPS was 58.6% [(3x2) + 20m], 85.6% [(2x2) + 9m] and 80.4% (9x2m) lower compared to the showed in pasture under fertilization. The percentage of senescent material in signalgrass dry matter was higher in the pastures under full sun. Higher protein levels and lower of dry matter, neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF) were obtained in the SPS. Crude protein (CP), NDF, ADF, hemicellulose and cellulose showed an arrangement effect for whole plant. The signalgrass performance did not vary in the SPS due the cultivar used in the integration. However, the leaf area index (LAI) as well as photosynthetically active radiation (PAR) were lower in the SPS with the I144 cultivar. In relation to the chemical parameters of the soil there was no effect for spatial arrangement of the SPS and for site evaluated (center of interrow or under the canopy trees) the carbon stock did not vary as to the arrangement and location in the parcel and showed an increase of 37.8% between the 3rd and the 7th year.

Key-words: Productivity, bromatological composition, luminosity, organic carbon, soil

ASPECTOS AMBIENTAIS E PARÂMETROS PRODUTIVOS E NUTRICIONAIS DA *Urochloa decumbens*

1 INTRODUÇÃO GERAL

As pastagens constituem o maior ecossistema global, respondendo por 26% da cobertura vegetal de todo planeta (FAO, 2016). No Brasil, aproximadamente 25% da área total do país encontra-se ocupada por forrageiras, naturais ou cultivadas, destinadas a produção animal. As espécies predominantes no País são do gênero *Urochloa*.

Esse ecossistema exerce grande importância econômica para o País, uma vez que constitui o principal recurso nutricional para a criação de bovinos (Galdino et al., 2016). Estima-se que cerca de 50% das pastagens estejam em processo de degradação e 25% com baixa capacidade de suporte, ou seja, com taxa de lotação igual ou inferior a $0,75 \text{ UA.ha.ano}^{-1}$ (IBGE, 2014).

A redução na produtividade das forrageiras geralmente está associada às alterações nos atributos físico-químicos do solo ao longo de sucessivos ciclos de produção. Entre essas variações destacam-se a redução dos estoques de matéria orgânica no solo e da fertilidade. Esse cenário ocorre nas condições de manejo convencional, onde correções de acidez e fertilidade não são efetuadas, ou são conduzidas de forma inadequada (Dias-Filho, 2014).

A matéria orgânica do solo (MOS) exerce função crucial na manutenção da capacidade produtiva do solo. Essa fração apresenta altos teores de carbono orgânico e constitui importante reservatório desse elemento na biosfera. Desse modo, a MOS contribui para manutenção do equilíbrio na concentração dos gases do efeito estufa na atmosfera. Além do efeito negativo sobre o desempenho animal, a degradação de pastagens assume participação significativa no cenário das mudanças climáticas.

Nesse contexto, a recuperação de pastagens degradadas, bem como o manejo adequado dessas se faz crucial para melhoria dos índices econômicos da agropecuária assim como, da sustentabilidade do setor. Dentre as estratégias para essa finalidade encontram-se os sistemas silvipastoris, os quais integram produção de forrageiras e arbóreas em uma mesma área.

A inclusão do componente arbóreo em pastagens altera o microclima e por consequência, interfere na produtividade e na composição da forrageira (Paciullo et al., 2014). Assim, o sucesso na adoção desse sistema é dependente da escolha de espécies capazes de adaptar as condições inerentes ao ambiente e da distribuição espacial dos componentes na

área. Objetivou-se avaliar o desempenho produtivo e nutricional da *Urochloa decumbens*, os parâmetros químicos do solo e efeitos sobre a luminosidade em sistema silvipastoril sob diferentes arranjos espaciais e cultivares de *Eucalyptus* spp. na região do Cerrado mineiro.

CAPÍTULO 1 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1 Degradação de pastagens

As pastagens constituem o maior ecossistema global, respondendo por 26,5% da cobertura vegetal de todo planeta (Tubiello et al., 2013). Esse ecossistema ocupa aproximadamente 3,5 bilhões de hectares, o equivalente a 70% de toda área ocupada pela agricultura mundial. Na América, as gramíneas contabilizam 808,9 milhões de hectares ou 21,1% da área continental.

No Brasil, conforme estimativas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), as pastagens somam 180 milhões de hectares, o que equivale a 25% da área total do País (IBGE, 2014). Desse total, cerca de 102 milhões de hectares são de áreas cultivadas. As pastagens respondem pela alimentação de 93% do rebanho nacional (Galdino et al., 2016), estimado em 215, 2 milhões de cabeças (IBGE, 2016).

Em função da grande extensão ocupada, as pastagens assumem papel crítico na manutenção da sustentabilidade ambiental. O cenário mundial, sobretudo na região dos trópicos, a exemplo do Brasil, reflete sistemas de baixa produtividade principalmente em decorrência de deficiência no manejo e consequente degradação (The World Bank, 2012).

A degradação das pastagens é entendida como uma redução acentuada na produção de biomassa vegetal e invasão por espécies não palatáveis na área de pasto (Brasil, 2012). O processo acarreta o aparecimento de áreas de solo sem cobertura vegetal, compactação e redução na MOS e na biomassa microbiana do solo. Os primeiros sintomas observados estão relacionados à redução da capacidade de suporte da forragem e perda de vigor do rebrote. O fenômeno apresenta implicações ambientais e ecológicas, em decorrência da baixa produtividade do solo e de estar associado à tendência de desmatamento contínuo (Nesper et al. 2015).

Na implantação das pastagens melhoradas, o solo geralmente é submetido à correção de acidez e aplicação de fertilizantes para contornar deficiências. Apesar do investimento inicial, a maioria das pastagens tropicais sofre degradação após poucos anos de uso (Fonte et al., 2014). Isso ocorre principalmente em consequência de superpastejo e da ausência de reposição de nutrientes. As reduções nas reservas de nitrogênio (N) e fósforo (P) disponíveis, resultante da ausência de reposições desses minerais, são descritas como importantes causas da degradação (Dias-filho, 2010).

O decréscimo na qualidade e na deposição dos resíduos orgânicos sobre o solo reduz o conteúdo de COS e a atividade microbiana. Esse processo promove mudanças na dinâmica de processos de ciclagem de nutrientes (Cardoso et al. 2013). Os aspectos relacionados à ciclagem de carbono, N e P são de particular interesse para conservação do solo, sobretudo em regiões tropicais. De acordo com Fonte et al. (2014) em muitas regiões tropicais a exemplo da Amazônia e do bioma Cerrado, os solos apresentam baixa qualidade. Oberson et al. (2013) relatam nesses ambientes problemas relacionados à toxicidade por Alumínio (Al) e deficiência de nutrientes, particularmente o fósforo. Esse cenário compromete o desempenho das forrageiras levando a perda gradual de vigor ao longo dos ciclos de pastejo.

Projeções do IBGE apontam que cerca de 50% das áreas de pastagem do Brasil apresenta-se em processo de degradação e que 25% apresenta capacidade de suporte inferior a $0,75 \text{ UA ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (IBGE, 2014). Esses dados demonstram que a pecuária no País ainda apresenta características de extensiva. Tais fatores contribuem para o baixo desempenho produtivo animal no País.

O monitoramento criterioso da capacidade de suporte animal possibilita o diagnóstico do início do processo de degradação. Conforme estimativas da FAO, na fase inicial, os custos para recuperação de pastagem degradada estão próximos de $\text{US\$ } 100 \text{ ha}^{-1}$. Por outro lado, quando em estágio avançado, o investimento pode extrapolar $\text{US\$ } 200 \text{ ha}^{-1}$. Vale ressaltar que a redução da taxa de lotação permite a manutenção do desempenho animal, mas não supera a tendência de degradação da pastagem (Carvalho, 2006).

1.2 Sistemas agroflorestais

Sistema agroflorestal (SAF) constitui um termo geral para sistemas de uso de terra e tecnologias, onde plantas perenes lenhosas são deliberadamente utilizadas na mesma unidade de manejo com culturas agrícolas e/ou animais. Esses fatores são organizados em arranjo espacial ou em sequência temporal (Lasco et al. 2011). Balbino et al. (2011) conceituam SAFs como estratégia produtiva que integra agricultura, pecuária e floresta em uma mesma área, de forma simultânea ou sequencial. Independente da denominação, a principal característica do ponto de vista econômico é a diversificação produtiva (Lasco et al. 2014).

Os SAFs ganharam notoriedade no meio científico nas últimas quatro décadas, principalmente após a contextualização das mudanças climáticas (Nair et al., 2011). Em função da diversidade qualitativa e quantitativa de biomassa comparada à agricultura

convencional, o sistema ganhou importância como potencial mitigador de GEE (Lasco et al., 2014).

Acredita-se que os SAFs sejam tão antigos quanto à própria agricultura (Nair, 2012). Essa prática tem sido relevante por séculos em diferentes áreas do planeta, sobretudo em agricultura de subsistência (Nair et al., 2009). De acordo com os autores os SAFs são uma das mais antigas formas de agricultura no sudeste da Ásia. Na região o sistema é utilizado em comunidade de pescadores desde os anos de 13.000 - 9000 a.c. De acordo com estimativas da FAO, cerca de 30% da população rural do planeta, utiliza espécies arbóreas em escala variável e, essas estão presentes em 46% de todos os solos agrícolas (FAO, 2009).

Uma das limitações para precisão na estimativa da área sob SAFs é a falta de procedimentos adequados para delinear a área influenciada por árvores em um conjunto misto de arbóreas e culturas agrícolas (Zomer et al., 2014). De acordo com os autores não é útil rotular uma porcentagem mínima de cobertura arbórea como representativo de SAFs. Na realidade os sistemas são caracterizados por frações que variam de zero a valores próximos a 100%.

De acordo com Zomer et al. (2008), a área ocupada pela agricultura mundial no final da década de 2000 somava 22.183.204 km². Desse total, 10.120.000 km² apresentava cobertura arbórea igual ou superior a 10% da área. Ainda de acordo com os autores, grandes áreas de SAFs são encontradas na América do Sul (3,2 milhões de km²), na África Subsaariana (1,9 milhões de km²) e no Sudeste Asiático (1,3 milhão de km²). Segundo Ong et al. (2015) existe grande potencial de crescimento para as áreas com SAFs em todo o planeta. Zomer et al. (2014) estimaram que a área total de 750 milhões de hectares está adequada para a implantação desses sistemas. O maior potencial ocorre na América do Sul (330 milhões de hectares) e África (220 milhões de hectares). A grande maioria dessas terras na América do Sul encontra-se ocupada por pastagens ou savana.

Comparado aos sistemas agrícolas convencionais, o papel dos SAFs frente às mudanças climáticas ainda é recente e demanda estudos mais aprofundados (Mbow et al., 2014). As pesquisas sobre esses sistemas têm focado na melhoria nos atributos físico-químicos do solo, na conservação da umidade do solo e no microclima (Sileshi, 2014). Além desses fatores, aumento na biodiversidade, redução da erosão e aumento na população microbiana do solo têm sido descritos (Lenka et al., 2012).

Conforme Iwata et al. (2012), o fato de alguns componentes serem perenes, possibilita redução nas perdas de nutrientes e melhoria dos atributos químicos, físicos e biológicos do

solo. O sistema radicular do componente arbóreo explora perfis de solo mais profundos e por meio da deposição da liteira favorece a reciclagem de nutrientes. Mowo et al. (2013) relatam a incorporação de árvores como importante no aumento dos estoques de carbono, além da redução na vulnerabilidade dos sistemas agrícolas.

A dinâmica da umidade no solo é mais complexa em áreas sob a combinação de árvores e culturas sazonais que sob as mesmas culturas agrícola e florestal cultivadas em monocultivo (Zhang et al., 2016). De acordo com os autores, as variações no teor de água dos solos sob SAFs dependem de fatores, os quais incluem as espécies de árvores e culturas, a proporção de área de terra alocada para cada componente, da distribuição de raízes, propriedades dos solos e o clima predominante. Outro fator importante é o padrão da distribuição espacial das culturas na área. Estudo conduzido por Ellis et al. (2015) evidenciou que árvores conseguem extrair água do solo em áreas de terras adjacentes, sendo esse comportamento variável em função do tipo de sistema agroflorestal.

Os SAFs constituem alternativa para aumento da biomassa vegetal, da MOS e dos estoques de carbono na planta e no solo (Nair, 2012). Nesses sistemas, incrementos nos teores de carbono têm sido relatados também em profundidades abaixo da camada arável do solo (0-30 cm). Em estudo conduzido por Mangalassery et al. (2014), em áreas com SAFs, verificaram-se que esses apresentaram maiores estoques também na profundidade de 40-100 cm. Os autores mensuraram o elemento no solo ao longo de três anos, em dois sistemas de pastagem em monocultivo (*Cenchrus ciliaris* e *Cenchrus setegerus*), dois sistemas florestais (*Acacia tortilis* e *Azadirachta indica*) e quatro sistemas silvipastoris no noroeste da Índia. Os sistemas silvipastoris com *A. indica* (nim) apresentaram maiores teores seguidos pelos de *A. tortilis* (acácia). Os menores teores foram obtidos no monocultivo de acácia e de *C. ciliaris*.

Efeitos negativos dos SAFs também são descritos na literatura. Tais limitações estão relacionadas à competição por recursos produtivos (luminosidade, nutrientes e água), ao sombreamento excessivo e aos efeitos alelopáticos (Mathukia et al., 2016). Assim, o sucesso nos SAFs está relacionado à escolha das espécies para a composição do sistema, o arranjo entre as plantas e do local a ser implantado.

1.2.1 Sistema silvipastoril

O sistema silvipastoril (SSP) compõe uma modalidade de SAF, no qual há integração do componente arbóreo e forrageira para produção animal (Kiptot e Franzel, 2012). Nesse

sistema, as árvores são espaçadas de forma a permitir a produção da pastagem, que é pastejada diretamente ou colhida e fornecida posteriormente.

O uso do SSP constitui alternativa sustentável para recuperação ou estabelecimento de novas pastagens (Paciullo et al., 2007). De acordo com os autores, as árvores extraem nutrientes das camadas mais profundas do solo e os disponibilizam via deposição de liteira nos perfis acessíveis às raízes das gramíneas. Assim, em decorrência da reciclagem de nutrientes, ocorre o enriquecimento do solo nas áreas sob influência das copas das árvores. Esse fator pode contribuir para melhoria nos parâmetros nutricionais da forrageira (Hill et al., 2016).

Espécies do gênero *Eucalyptus* constituem o grupo de arbóreas mais utilizadas em SSP na região dos trópicos (Tonuci et al., 2011; Paula et al., 2013). Híbridos de *E. camaldulensis* compõem uma das principais arbóreas em SSP na região de Savanas (Silveira et al., 2011). Esses genótipos apresentam sistemas radiculares profundos o que reduz a competição com a forragem. Entretanto, leguminosas também têm recebido atenção quanto à viabilidade de uso, principalmente em decorrência do benefício adicional associado à fixação biológica de N (Apolinário et al., 2015, Oliveira et al., 2016).

O sistema silvipastoril apresenta grande potencial de aplicação no Brasil como estratégia para recuperação de pastagens degradadas (Corrêa et al., 2015). A recuperação de pastagens via SSP reduz a dependência de insumos externos, gera produtos adicionais e minimiza os impactos ambientais inerentes à pecuária convencional (Pezarico et al., 2013).

A presença do componente arbóreo reduz a luminosidade disponível no sub-bosque. Conforme Paciullo et al. (2008), esse efeito interfere nos aspectos morfofisiológicos determinantes da produtividade da gramínea. Em geral, a taxa de crescimento e a produção da forragem apresentam correlação negativa com a intensidade do sombreamento. Nesse contexto, Costa et al. (2016) descreveram diferentes arquitetura de plantas, sugerindo espécies arbóreas com copas menos densas para uso em SSP. Intensidades de sombreamento entre 20 e 40% da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) são consideradas como moderadas. Conforme Paciullo et al., (2007) níveis superiores a 40-50% em geral tem efeito negativo no crescimento e produtividade das forragens em sistemas agrossilvipastoril e SSP.

A RFA no sub-bosque sofre efeitos da distribuição espacial das espécies, arquitetura e idade da arbórea (Costa et al. 2016), condições edafoclimáticas e genótipos (Maire et al. 2011). Além desses fatores, a direção do plantio da fila ou renque das arvores também apresentam grande importância (Oliveira et al., 2016). O índice de área foliar (IAF) apresenta

relação direta com a produtividade vegetal primária. Esse parâmetro é utilizado para avaliar os efeitos das arbóreas na interceptação da radiação luminosa em SSP.

A competição entre os componentes do sistema pelos mesmos recursos, constitui o principal desafio para o sucesso no SSP. Desse modo, a escolha adequada dos componentes é crucial para adequado desempenho desses sistemas. No caso da forrageira, a espécie selecionada deve ter tolerância ao sombreamento, apresentar alto rendimento e ser adaptada ao manejo, ao solo e às condições climáticas da área (Guerra et al., 2016). Além desses fatores, é importante considerar o fator animal e nível tecnológico a ser adotado.

A integração modifica o microclima do sub-bosque, fato benéfico à produção da forragem (Lindgren e Sullivan, 2014). Conforme os autores, a presença das árvores proporciona redução na velocidade do vento, menor oscilação na temperatura, maior umidade do ar e no solo e menores taxas de evapotranspiração quando comparada às pastagens não arborizadas. Essa característica contribui também para melhoria na ambiência e, desse modo apresenta efeito positivo sobre o desempenho animal (Vilela et al., 2011). Esses sistemas, embora preconizados inicialmente para a recuperação de solo e áreas degradadas, tem se destacado também na contribuição para o bem-estar animal (Broom et al., 2013). Os bovinos em condições de estresse fisiológico alteram seu comportamento em busca de conforto, reduzindo o consumo ou procurando sombra, refletindo em diferentes intensidades na produção.

Em condições tropicais, a elevada incidência de radiação solar, as altas temperaturas e umidade relativa do ar contribuem para o desconforto dos animais mantidos em pastagens (Broom et al., 2013). Para o cerrado brasileiro, o uso de sombreamento constitui prática eficiente na redução dos efeitos indesejáveis do clima, sendo as árvores um recurso viável para o produtor (Gurguel et al., 2012). Nesse bioma, onde há a necessidade de conciliação entre produção e preservação, o SSP apresenta grande relevância (Balbino et al., 2011). Além de proporcionar bem-estar animal, esses sistemas, apresentam alta capacidade de armazenar carbono na biomassa e solo, contribuindo assim, para mitigação da emissão de CO₂.

No contexto das mudanças climáticas o SSP, a exemplo dos demais SAFs, é considerado importante mecanismo para redução da emissão de CO₂ para atmosfera. Conforme La Scala Júnior et al. (2012) a implantação de eucalipto em áreas de pastagem degradadas permite absorver até 28 t ha⁻¹ ano⁻¹ de CO₂.

1.2.2 Utilização do gênero *Urochloa* em sistema silvipastoril

O gênero *Brachiaria* (Syn. *Urochloa*) pertencente à família *Poaceae*, subfamília *Panicoideae* é representada por espécies anuais e perenes com formas cespitosas e estoloníferas (Bogdan, 1977). O *Urochloa* spp. é composto por aproximadamente 97 espécies nativas da América, Austrália, Sudeste da Ásia e África. É encontrado em grande diversidade de ambientes em todo planeta, que incluem Savanas, pântanos e regiões áridas, sob luz solar plena ou com diferentes intensidades de sombreamento (Keller-Grein et al., 1996).

As gramíneas tropicais, a exemplo do gênero *Urochloa* utilizam o ciclo de Hatch-Slack, no qual a reação inicial de carboxilação resulta em oxaloacetato, um ácido de quatro carbonos e, por isso são denominadas plantas C4 (Ehleringer e Monson, 1993). Comparada às plantas C3, que utilizam o ciclo de Calvin-Benson, as espécies C4 são menos eficientes no uso da luz, pois exigem mais energia para reduzir a molécula de CO₂. Contudo, essa menor eficiência só ocorre quando a temperatura foliar é menor que 25-30° C. Desse modo, em condições de sombreamento, inerentes ao SSP, espera-se redução na produção primária, especialmente em espécies C4.

1.2.2.1 *Urochloa decumbens* em silvipastoril: aspectos morfofisiológicos, produtivos e nutricionais

U. decumbens exibe alta plasticidade fenotípica à mudança na intensidade de sombreamento e condições climáticas (Paciullo et al., 2011). Essa característica está associada à capacidade da forrageira em alterar características bioquímicas, fisiológicas e morfológicas em resposta à variação no meio. Conforme Givnish (1988), esse mecanismo aumenta a eficiência da forrageira na utilização da luminosidade em condições de luz restrita. Tais aspectos classifica a espécie como boa opção para utilização em sistemas silvipastoris.

Em condições de sombreamento, a histologia da lâmina foliar da forrageira revela redução na parede celular e no número de células do mesófilo por unidade de área (Gómez et al., 2013). Além disso, verifica-se tecido foliar mais fino em consequência do aumento na área foliar específica. Anatomicamente as folhas se revelam mais finas, mais longas e mais largas e com epiderme mais fina. Quanto à clorofila, folhas com disponibilidade de luz limitada aumentam a concentração desse pigmento, principalmente nos complexos de absorção de luz pelos cloroplastos (Lambers et al., 2008). Apesar desses efeitos, folhas sob sombreamento tendem à menor capacidade fotossintética que as aquelas aclimatadas pelo sol.

Para maximizar a captação de luz pelas gramíneas crescendo sob sombra, o índice de área foliar (IAF) pode ser aumentado ou mantido. Além disso, pode ocorrer alteração na disposição das folhas ou inclinação da planta (Gómez et al., 2012). Incrementos no IAF, quando presentes, decorrem da maior alocação da biomassa para folhas e são positivamente correlacionados com a relação folha: colmo. Entretanto, estudos conduzidos por Baruch e Guenni (2007), Gómez et al. (2013) e Guerra et al., (2016) não apontaram aumento na relação folha: colmo de espécies de *Urochloa* spp. incluindo a *U. decumbens* sob sombreamento.

A relação folha: colmo demonstra baixa variabilidade em decorrência da mudança da intensidade da luz no sub-bosque em forrageiras sob SSP. Esse comportamento foi descrito por Guerra et al. (2016) que mensuraram a proporção de folha, colmo e material senescente em *U. decumbens* e não verificaram diferença entre regimes de luminosidade de 100 e 50%. Os autores avaliaram a forrageira em monocultivo e SSP com arbóreas *Myracrodruon urundeuva* (aroeira). Resultados semelhantes foram relatados por Soares et al., (2009) em SSP com arranjos de 15 x 3m, 9 x 3m e pastagem em monocultivo. A forrageira foi avaliada sob a copa das arbóreas e no centro das parcelas e não se constataram diferenças significativas na relação folha: colmo. No entanto, os autores verificaram maior proporção de material senescente na *U. decumbens* em sol pleno.

A aclimação descrita em gramíneas do gênero *Urochloa*, sobretudo na *U. decumbens* creditam essas como opções viáveis para utilização em SSP. Tais fatores contribuem para reduzir os impactos do sombreamento sobre os parâmetros produtivos em relação a outras gramíneas utilizadas em SSP. Baruch e Guenni (2007) compararam *U. brizantha*, *U. dictyoneura* e *U. decumbens* e constataram que apenas a última manteve crescimento ativo sob 60% de sombreamento. Já Gómez et al. (2013) relataram grande capacidade de aclimação de *U. decumbens* a luz solar restrita. Conforme os autores, a expansão foliar não foi afetada mesmo com redução da luminosidade em até 70%. Entretanto, o sombreamento tem menor efeito reativo sobre a expansão foliar que na acumulação de biomassa, o que pode repercutir em baixa produtividade.

O número de perfilhos sofre redução gradual com a queda da luz incidente. O aumento da radiação incidente de 35 para 65% em pastagem de *Urochloa decumbens* consorciada com árvores proporcionou aumento de 76% no número de perfilhos (Paciullo et al., 2007). Estudo posterior conduzido pelos autores com a mesma forrageira obteve-se média de 372, 470 e 512 perfilhos.m⁻² para as intensidades de sombreamento de 50, 18 e 0%, respectivamente (Paciullo et al., 2008).

Paciullo et al., (2011) avaliaram *Urochloa decumbens* em diferentes distâncias do componente arbóreo e verificou média de perfilhos 37% menor sob a copa da árvore que aquela estimada a 9,1 m de distância do renque. Esse comportamento está diretamente relacionado às diferentes intensidades de sombreamento no sub-bosque no SSP.

Com relação à produção de matéria seca (MS), Pereira et al. (2015) relataram redução de 3.382 para 2.64 kg de MS ha⁻¹ em *U. decumbens* sob SSP quando comparado ao monocultivo. Os autores avaliaram arranjos de 3x2, 6x4 e 10x4m, e constataram efeito dessa variável sob a produtividade da forrageira nas quatro estações avaliadas. A taxa de acúmulo de forragem (kg.ha⁻¹.dia⁻¹ de MS) também foi mensurada, demonstrando resultados semelhantes à MS, com médias superiores na forrageira em sol pleno.

Resultados semelhantes foram obtidos por Bosi et al. (2014) que apontaram redução de 1.745 kg de MS ha⁻¹, com 25% de sombreamento, para 1.500 kg de MS ha⁻¹, com 39% de sombreamento. Já Guerra et al. (2016), verificaram produtividade de 1.306 e 726 kg ha⁻¹ em *U. decumbens* em monocultivo e SSP respectivamente. Os últimos autores utilizaram densidade de 1.111 árvores ha⁻¹ em arranjo de 3 x 3m, o que justificaria a redução mais intensa na pastagem em consórcio.

Os teores de MS na forrageira seguem o mesmo padrão descrito para a produtividade, demonstrando redução sob SSP. Santos (2014) avaliou *U. decumbens* sob intensidades de sombreamentos de 0, 30, 50 e 70%, verificando redução nos teores com médias de 46,38, 41,47, 41,67 e 27,22% respectivamente. Essa redução nos teores de MS é atribuída ao estágio ontogênico menos pronunciado na planta em condições restritas de luminosidade e as menores taxas de transpiração (Paciullo et al., 2011).

As diferenças na interceptação da radiação solar causada pelo sombreamento natural ou artificial interferem no microclima onde a pastagem cresce (Gómez et al., 2013). Sob tais condições, além da intensidade da luz, a temperatura também sofre redução. Esses fatores estão associados à redução na produtividade da forrageira. No entanto, a mineralização da MOS e a umidade do solo apresentam incrementos em áreas sob SSP. Esses fatores são positivamente correlacionados à melhoria da qualidade da forrageira (Xavier et al., 2014).

Incrementos no teor proteico são descritos em *U. decumbens* em SSP, principalmente nas forrageiras sob as copas das arbóreas. Esse comportamento é justificado pelo aumento na deposição de liteira, na degradação da matéria orgânica e na reciclagem de nutrientes (Paciullo et al. 2011; Paciullo et al., 2014; Xavier et al. 2014). O incremento na mineralização

de N e na disponibilidade de água favorecem aumento nos teores proteicos e no conteúdo mineral da forragem.

Estudos conduzidos por Costa et al., (2016) em *U. decumbens* em monocultivo e em silvipastoril com *mimosa caesalpiniiifolia* Benth. e *Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp não demonstraram efeito do tipo de cultivo no teor proteico da forrageira. Nesse experimento, a forrageira foi avaliada aos 28 dias, o que pode justificar a ausência de efeito do sombreamento sobre essa variável.

A fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e lignina, assim como a digestibilidade de *U. decumbens* sob SSP demonstram pouco variabilidade (Sousa et al., 2010; Paciullo et al., 2011; Tosta et al., 2015). O aumento sombreamento pode induzir o alongamento do colmo e, conseqüentemente gerar incrementos no conteúdo de parede celular (Sousa et al., 2010). Por outro lado, a lâmina foliar da forrageira em condições de luminosidade restrita tende a apresentar estado ontogênico menos pronunciado e conseqüentemente, menor teor de fibra (Paciullo et al., 2011).

O conteúdo fibroso das forrageiras apresenta correlação negativa com a digestibilidade da mesma. Desse modo, os resultados quanto à digestibilidade de *U. decumbens* em SSP refletem pouca ou nenhuma variação, semelhante ao descrito para os teores de fibra (Sousa et al., 2010; Paciullo et al., 2014; Costa et al., 2016; Guerra et al., 2016).

1.3 A dinâmica do carbono no sistema solo-planta

O oceano, o solo, a atmosfera e a biosfera podem atuar como reservatórios ou fontes emissoras de carbono em função da escala temporal e da localização (Reddy, 2016). Conforme o autor, a quantidade estocada ou liberada varia de acordo com o tipo de uso do solo.

As maiores trocas desse elemento no planeta ocorrem na interface entre a atmosfera e a biosfera terrestre (Carvalhais et al., 2014). Anualmente, estima-se uma troca de 120 petagramas (Pg) de carbono entre esses ambientes (Midgley et al., 2010). De acordo com os autores, os ecossistemas terrestres capturam cerca de 25% do carbono total de origem antrópica. O restante acumula-se na atmosfera contribuindo para o aquecimento global.

As mudanças na troca líquida de CO₂ entre esses ambientes promovem o aumento ou a redução das concentrações atmosféricas desse gás. As plantas desempenham papel crucial no ciclo do carbono. Por meio da fotossíntese e da respiração essas controlam a magnitude e a direção dos fluxos de carbono (Heimann e Reichstein, 2008).

Para os ecossistemas terrestres, o tamanho total do reservatório de carbono é igual aos estoques do elemento na vegetação e nos solos. Segundo Carvalhais et al. (2014), os estoques mundiais contabilizando solo e fitomassa é de aproximadamente 2.807 Pg de carbono. Entretanto esse montante é dinâmico em função do balanço de captação/emissão de carbono.

1.3.1 Armazenamento de carbono pelo solo

O solo representa o maior reservatório de carbono entre os ecossistemas terrestres (Koven et al., 2015). Estima-se que esse compartimento armazene aproximadamente 2.500 Pg desse elemento, superando em duas vezes o presente na atmosfera (Tarnocai et al., 2009). A maior fração encontra-se nas camadas superficiais até a profundidade de 1m (1.500 Pg) e até 2m (2.400 Pg) (Paustian et al., 2016). Contudo, parte significativa pode ser rapidamente perdida para a atmosfera quando ocorrem alterações nas condições climáticas e na umidade do solo (Luo et al., 2016; Feng et al., 2016).

Os solos sob biomas florestais estocam 787 Pg de carbono, desse total, as tropicais respondem por aproximadamente 216 Pg (Paustian et al., 2016). Para a região do Cerrado, Bustamante et al. (2006) estimaram cerca de 24 Pg até 1m de profundidade, o que corresponde a 117 Megagramas hectare⁻¹ (Mg de C ha⁻¹). Já Batlle-Bayer et al. (2010) analisaram os resultados de 12 trabalhos conduzidos nesse bioma e observaram valores entre 123 e 209 Mg de C ha⁻¹. Para áreas com culturas agrícolas os estoques são de aproximadamente 128 Pg de C, considerando apenas o componente solo. Por outro lado, Paustian et al. (2016) estimaram o estoque de 170 Pg de C para áreas com pastagens em todo o planeta.

Os solos contêm carbono em formas orgânicas e inorgânicas (Scharlemann et al. 2014). A maior parte é armazenada como carbono orgânico (COS) sob a forma de matéria orgânica do solo (MOS), composto de vegetais e animais em decomposição (MOS morta) e de matéria fúngica e bacteriana (MOS viva). A MOS viva equivale a aproximadamente 4% do COS total e compreende a biomassa microbiana, onde se inclui organismos menores que $5 \times 10^3 \mu\text{m}^3$ (Hungria et al., 2016). A MOS restante está presente na fração morta, composta por resíduos vegetais, substâncias húmicas e não húmicas (Madari et al., 2005).

Em levantamento realizado pela FAO, com base no Banco de Dados Mundial Harmonizado de Solos (HWSD), relataram-se estoques totais de 1.417 Pg de COS em condições parcialmente perturbadas (FAO, 2009). Alguns autores relatam que a distribuição do COS apresentada pela FAO não é tão precisa (Scharlemann et al., 2014). O mapa atual

considera dados até a profundidade de 1m, o que pode ser representativo para a maioria dos solos minerais, nos quais o conteúdo de COS declina rapidamente com a profundidade. Entretanto em solos orgânicos que são mais profundos, abaixo de 1m existem altas concentrações de COS (Tarnocai et al., 2009; Page et al., 2011). Desse modo, essa metodologia subestima o carbono armazenado nos solos orgânicos.

Sharlemann et al., (2014) efetuaram análise de estudos quantificando o COS em diversos ambientes do planeta e relataram média de 1.500 Petagramas (Pg). Os autores verificaram grande variação entre as médias observadas nas pesquisas, as quais oscilaram entre 504 e 3.000 Pg. Essa variabilidade está relacionada a fatores que incluem clima, propriedades físico-químicas do solo e tipo de vegetação presente.

De acordo com Chen et al. (2016) o COS pode ser dividido em lábil e fração recalcitrante conforme a estabilidade no solo. A porção lábil é mais instável e responde rapidamente ao manejo do solo. Assim, essa fração compõe indicador sensível às mudanças no COS, constituindo a principal fonte de carbono liberado para a atmosfera após alterações no ecossistema (Shang et al., 2016). Além disso, essa tem o potencial de acelerar a decomposição da porção recalcitrante por meio da microbiota do solo e, conseqüentemente quebra a estabilidade do elemento nesse compartimento (Qiao et al., 2014).

A proteção do COS ocorre via estabilização química por adsorção mineral, por meio de isolamento físico em agregados de solo e pela recalcitrância química da MOS (Sulman et al., 2014; Wieder et al., 2014; Tang e Riley, 2015; Graf-Rosenfellner et al., 2016). Stewart et al., (2009) relatam que a capacidade final de estabilização pode ser definida por quatro pools de COS possíveis de saturação que são, COS não protegido, frações físico-químicas, e bioquimicamente protegidos. Assim, faz-se importante o fracionamento físico do COS, uma vez que essas frações são mensuráveis e podem representar os mecanismos de proteção da MOS (Feng et al., 2016).

As partículas de solo fisicamente fracionadas são obtidas de acordo com o tamanho do agregado ou com a textura do solo. Essas estão associadas positivamente com o conteúdo de MOS. O COS nos macroagregados apresenta ciclagem mais rápida em relação ao carbono nos microagregados e aquele associado aos minerais (Feng et al., 2016). De acordo com os autores o COS nos microagregados e associado aos minerais são protegidos por isolamento físico e pela matriz mineral, respectivamente.

A MOS do solo atua como armazenadora de carbono em curto prazo e apresenta alta correlação com o manejo adotado. Na ausência de práticas conservacionistas essa fração é

rapidamente decomposta, sendo o carbono perdido via lixiviação, processos de erosão ou liberado para atmosfera (Francisco et al., 2016). Em condições naturais não perturbadas as entradas de carbono, a partir da liteira e biomassa radicular, se equivalem às saídas via respiração do solo, lixiviação e erosão (The World Bank, 2012; Carvalhais et al., 2014).

O termo “respiração do solo” compreende os fenômenos bioquímicos no qual ocorre a produção de CO₂ pela respiração das raízes, biomassa microbiana e via oxidação química dos compostos de carbono (Hungria et al., 2016). A liberação de CO₂ pelos microrganismos (respiração basal) e pelos invertebrados e raízes (respiração edáfica) constituem os principais indicadores da atividade biológica do solo. Além desses, a biomassa microbiana constitui-se importante agente regulador do processo de decomposição de resíduos orgânicos e ciclagem de nutrientes.

A transferência de CO₂, via respiração do solo, representa a maior perda de carbono em solo de biomas florestais. Conforme Pulronik et al. (2009) a taxa na qual o carbono é metabolizado durante a oxidação dos compostos orgânicos é proporcional à biomassa microbiana que participam dessas reações.

Em vegetação nativa o potencial de sequestro de carbono é controlado principalmente por fatores pedológicos que estabelecem os limites físico-químicos máximos para o armazenamento nesses solos. Tais fatores incluem textura, mineralogia, profundidade, densidade e aeração do solo. Conforme Stewart et al. (2009), a saturação da capacidade de retenção COS pode ocorrer em alguns solos. Esse comportamento foi descrito principalmente em solos com alta concentração de COS (Carrington et al., 2012). Nesses, observa-se um aumento discreto e assintótico nos estoques com aumento nas entradas de carbono fotossintetizadas para o solo.

Com relação à textura, os argilosos geralmente apresentam maior valor para a capacidade máxima de retenção que os arenosos (Angers et al., 2011). Esse comportamento é atribuído à maior área de superfície disponível para as interações organo-minerais mostradas pelas frações de argila e silte (Stewart et al., 2009). Além da textura, a mineralogia também apresenta estreita relação com os estoques de COS. Os óxidos de Fe e Al compõem os principais minerais responsáveis pela sorção de compostos orgânicos (Hanke et al., 2015). De acordo com Reis et al., (2014) goethita e gibbsita apresentam maior densidade de locais de sorção em comparação com hematita e caulinita e desse modo, conseguem promover maior interação com o COS.

A conversão de florestas em solo agrícola resulta na mineralização do COS e por consequência leva à redução dos estoques dessa fração no solo e ao incremento na emissão de CO₂ (Wei et al., 2014). Na literatura são descritas perdas médias oscilando entre 20 e 50% com essa mudança no uso do solo (Laganière et al., 2010). No primeiro ano de estabelecimento do sistema agrícola podem ocorrer incrementos no COS em decorrência do aporte inicial de liteira após o corte da vegetação (Navarrete et al., 2016). No entanto, após a decomposição dessa os valores voltam a sofrer redução em função da queda na deposição de resíduos vegetais. A intensidade dessa alteração decorrente da mudança do uso do solo é de difícil predição em função da variabilidade de fatores que interferem na mineralização do COS a exemplo de tipo de floresta, clima e propriedades do solo.

Em sistemas agrícolas convencionais o intenso revolvimento do solo resulta em aumento da atividade microbiana sobre os resíduos vegetais. Esse quadro é mais acentuado em condições tropicais, onde a alta temperatura e umidade do solo aceleram o processo de mineralização da matéria orgânica. Nesse contexto, na maioria dos cultivos agrícolas ocorre diminuição dos valores de adição anual de carbono orgânico quando comparado à vegetação nativa (Pereira et al., 2013).

Os fatores associados ao aumento do estoque de carbono também estão relacionados à melhoria da fertilidade, ciclagem de nutrientes e à estabilidade da estrutura do solo. Desse modo, a adoção de práticas conservacionistas contribui para o incremento no COS. La Scala Júnior et al. (2012) analisaram os resultados de 29 experimentos, comparando o estoque de carbono em solo sob plantio convencional (PC) e plantio direto (PD) de milho e soja e verificaram que a conversão do PC para o PD apresentou incremento médio de 0,41 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹. Os autores avaliaram ainda nove trabalhos onde foram mensurados os teores do CO no solo, mediante a substituição da colheita da cana-de-açúcar via queima por colheita mecanizada. A preservação da palhada resultou em incrementos médios de 1,8Mg de C ha⁻¹ ano⁻¹.

1.3.2 Estoques de carbono em áreas de pastagem

Do ponto de vista ambiental as pastagens apresentam grande importância no cenário das mudanças climáticas. Conforme o manejo, esse ecossistema pode atuar como sumidouro ou fonte emissora de GEE. Berenguer et al., (2014) relatam que as práticas de manejo em pastagens são tão importantes quanto às mudanças na cobertura do solo na determinação da

dinâmica COS e das emissões CO₂ pelos ecossistemas tropicais. A intensidade de pastejo, por exemplo, pode contribuir significativamente para preservar ou reduzir os estoques de COS.

Navarrete et al., (2016) analisaram a dinâmica do COS em pastagens implantadas em solos sob floresta equatorial e submetida à alta intensidade de pastejo e relataram incremento nos estoques de carbono nos dois primeiros anos. Contudo, a partir do segundo ano foi constatada redução gradual desta fração e, após 20 anos de implantação os estoques reduziram em 28% em relação aos presentes na área sobre floresta. Os autores atribuíram o incremento no COS nos anos iniciais ao aporte inicial de liteira após o corte da vegetação. A redução, por outro lado, foi associada à redução da biomassa vegetal em função da maior intensidade de desfolha e ao aumento da suscetibilidade à erosão.

Em áreas de pastagens, interações entre o manejo e a produção primária norteiam o crescimento da biomassa acima e abaixo do solo (Pringle et al., 2014). Klumpp et al., (2009) verificaram correlação negativa da intensidade de pastejo com a biomassa radicular e com o aporte de carbono pelo solo. Os autores constaram também alterações significativas na comunidade microbiana, as quais direcionaram ao predomínio de bactérias Gram positivas que aceleram a decomposição do COS e reduzem o nitrogênio disponível.

Pringle et al., (2014), em pastagens sob clima semiárido também encontraram correlação negativa entre a intensidade de pastejo e COS na camada superficial do solo (0 - 10cm). Os autores verificaram ainda redução nos teores de nitrogênio no solo. O COS está intimamente associado ao N total da MOS (Navarrete et al., 2016), assim, quaisquer alterações no COS também afetam o nitrogênio total do solo e conseqüentemente a fertilidade.

A erosão também é correlacionada às perdas significativas na MOS e COS, em áreas com baixa densidade de cobertura vegetal. Esse cenário pode ser observado em pastagens com alta intensidade de pastejo. De acordo com Fonte et al., (2014) a erosão contribui para perda de COS associados às frações de baixa densidade livre ou adsorvidos aos minerais no solo. Gradualmente esse processo afeta também o COS na fração de alta densidade constituída de MOS associadas aos minerais.

Pastagens bem manejadas, no entanto, conseguem manter ou apresentar incrementos na MOS e conseqüentemente no COS. Murty et al., (2002) analisaram o COS em áreas de pastagens no bioma de floresta tropical em relação à vegetação nativa e não observaram variação significativa nessa fração. Resultados divergentes foram descritos posteriormente por Fujizaki et al., (2015) em análise de resultados de 21 experimentos incluindo 52 pastagens

($\pm 17,6$ anos) na Amazônia. Os autores classificaram as pastagens como degradada, manejo convencional, e melhorado e verificaram incrementos de COS relativos de $9,8 \pm 4,3\%$ e $11,9 \pm 4,0\%$ no manejo convencional e melhorado, respectivamente. Nas áreas com pasto classificado como degradado não se averiguaram alterações nos estoques dessa fração. As pastagens apresentaram incrementos relativos médios de $6,8 \pm 3,1\%$ nos teores de COS em relação à área com vegetação nativa

A mudança de uso de solo de produção agrícola para pastagem, em geral está associada a incrementos nos teores de COS. Estudos em sistemas agrícolas na região tropical conduzidos por Don et al., (2011) relataram adição média de $8 \text{ Mg de COS ha}^{-1}$ (+26%) com o estabelecimento de pastagem em áreas agrícolas. Em contrapartida, a substituição da pastagem por culturas agrônômicas reduziu os estoques em $6 \text{ Mg de COS ha}^{-1}$ (-10%), no entanto, essa alteração foi restrita ao horizonte superficial (0-20cm). De acordo com os autores a ausência de efeito no subsolo decorreu da alta entrada de carbono com plantio direto utilizado nos plantios agrícolas avaliados. Desse modo, em sistemas convencionais onde há maior revolvimento do solo e exposição da MOS se espera maior diferença entre os estoques de COS na pastagem em comparação às produção agrícola.

1.4 Considerações finais

A inclusão do componente arbóreo em áreas de pastagens degradadas possibilita incrementos na fitomassa, na deposição de resíduos vegetais e, conseqüentemente, na matéria orgânica do solo. Desse modo, os sistemas silvipastoris contribuem para incrementos no sequestro de carbono pela agropecuária.

Nos sistemas silvipastoris, a presença das arbóreas altera a radiação fotossinteticamente ativa transmitida no sub-bosque e interfere nas características morfológicas da *Urochloa decumbens*. Em condições de sombreamento, a forrageira apresenta redução na produtividade e nos teores de matéria seca e incrementos na proteína bruta. Os componentes fibrosos demonstram pouco efeito da intensidade de luminosidade incidente.

1.5 Referências

ANGERS, D.A.; ARROUAYS, D.; SABY, N.P.A.; WALTER, C. Estimating and mapping the carbon saturation deficit of French agricultural topsoils. *Soil Use Manage.*, v.27, n.4, p.448-452, 2011.

- APOLINÁRIO, V.X.; DUBEUX, J.C.; LIRA, M.A. et al. Tree legumes provide marketable wood and add nitrogen in warm-climate silvopasture systems. *Agron J.*, v.107, n.5, p.1915-1921, 2015.
- BALBINO, L.C.; CORDEIRO, L.A.M.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V. et al. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. *Pesq. Agropec. Bras.*, v.46, n.10, p.I-XII, 2011.
- BARUCH, Z.; GUENNI, O. Irradiance and defoliation effects in three species of the forage grass *Brachiaria*. *Trop Grasslands*, v.41, n.4, p.269-276, 2007.
- BATLLE-BAYER, L.; BATJES, N.H.; BINDRABAN, P.S. Changes in organic carbon stocks upon land use conversion in the Brazilian Cerrado: A review. *Agr Ecosyst Environ.*, v.137, n.1-2, p.47-58, 2010.
- BERENGUER, E.; FERREIRA, J.; GARDNER, T.A. et al. A large-scale field assessment of carbon stocks in human-modified tropical forests. *Glob Chang Biol.*, v.20, n.12, p.3713-3726, 2014.
- BOGDAN, A.V. *Tropical pasture and fodder plants*. New York: Longman, 1977. p.150-160.
- BOSI, C.; PEZZOPANE, J.R.M.; SENTELHAS, P.C. et al. Produtividade e características biométricas do capim-braquiária em sistema silvipastoril. *Pesq Agropec Bras*, v.49, n.6, p.449-456, 2014.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura: plano ABC*. Brasília: MAPA/ACS, 2012. 173 p.
- BROOM, D.M.; GALINDO, F.A.; MURGUEITIO, E. Sustainable, efficient livestock production with high biodiversity and good welfare for animals. *Proc R Soc B.*, v.280, n.1771, p.2013-2025, 2013.
- BUSCH, F.A.; SAGE, R.F. The sensitivity of photosynthesis to O₂ and CO₂ concentration identifies strong Rubisco control above the thermal optimum. *New Phytol.*, v.213, n.3, p.1036-1051, 2016.
- BUSTAMANTE, M.M.C.; CORBEELS, M.; SCOPEL, E.; ROSCOE, R. Soil carbon storage and sequestration potential in the Cerrado Region of Brazil. In: LAL, R.; CERRI, C.C.; BERNOUX, M. et al. *Carbon sequestration in soils of Latin America*. New York: Haworth Press, 2006. p.285-299.
- CARDOSO, E.J.B.N.; VASCONCELLOS, R.L.F.; BINI, D. et al. Soil health: Looking for suitable indicators. What should be considered to assess the effects of use and management on soil health? *Sci Agric.*, v.70, n.4, p.274-289, 2013.
- CARRINGTON, E.M.; HERNES, P.J.; DYDA, R.Y. et al. Biochemical changes across a carbon saturation gradient: lignin, cutin, and suberin decomposition and stabilization in fractionated carbon pools. *Soil Biol Biochem.*, v.47, p.179-190, 2012.

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

CARVALHO, P.C.F. *Country Pasture/Forage Resource Profiles: Brazil*. Food and Agricultural Organization, v.25, 2006. 36p.

CHEN, X.; CHEN, H. Y.; CHEN, X. et al. Soil labile organic carbon and carbon-cycle enzyme activities under different thinning intensities in Chinese fir plantations. *Appl Soil Ecol.*, v.107, p.162-169, 2016.

COHEN, S.J.; WANDELL, W.M.W. *Climatic change in the 21st Century*. Quebec, Canada: McGill-Queen's University Press, 2009. p.20-22.

CORRÊA, A.R.; MONTANARI, R.; LAURA, V.A., et al. Aspects of the silvopastoral system correlated with properties of a typic Quartzipsamment (Entisol) in Mato Grosso do Sul, Brazil. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, v.39, n.2, p.438-447, 2015.

COSTA, S.B.D.M.; DE MELLO, A.C.; DUBEUX, J.C. et al. Livestock Performance in Warm-Climature Silvopastures Using Tree Legumes. *Agron J.*, v.108, n.5, p.2026-2035, 2016.

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

DON, A.; SCHUMACHER, J.; FREIBAUER, A. Impact of tropical land-use change on soil organic carbon stocks – a meta-analysis. *Glob Chang Biol.*, v.17, n.4, p.1658-1670, 2011.

EHLERINGER, J.R.; MONSON, R.K. Evolutionary and ecological aspects of photosynthetic pathway variation. *Annu Rev Ecol Evol Syst.*, v.24, n.1, p.411-439, 1993.

ELLIS, T.W.; HATTON, T.J. Relating leaf area index of natural eucalypt vegetation to climate variables in southern Australia. *Agr water Manage.*, v.95, n.6, p.743-747, 2008.

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.

FAO. *The state of food and agriculture*. Rome: FAO, 2016. p.23-30

FENG, W.; SHI, Z.; JIANG, J. et al. Methodological uncertainty in estimating carbon turnover times of soil fractions. *Soil Biol Biochem.*, v.100, p.118-124, 2016.

FONTE, S.J.; NESPER, M.; HEGGLIN, D. et al. Pasture degradation impacts soil phosphorus storage via changes to aggregate-associated soil organic matter in highly weathered tropical soils. *Soil Biol Biochem.*, v.68, p.150-157, 2014.

FRANCISCO, M.; CARDOZO, JR.; ROMERO F.V. et al. Soil carbon pools in different pasture systems. *Span J Agric Res.*, v.14, n. 1, p. 1-5, 2016.

GALDINO, S.; SANO, E.E.; ANDRADE, R.G. et al. Large-scale modeling of soil erosion with rule for conservation planning of degraded cultivated Brazilian pastures. *Land Degrad. Develop.*, v.27, n.3, p.773-784, 2016.

GIVNISH, T.J. Adaptation to sun and shade: a whole-plant perspective. *Funct Plant Biol.*, v.15, n.2, p.63-92, 1988.

GÓMEZ, S.; GUENNI, O.; BRAVO DE GUENNI, L. Growth, leaf photosynthesis and canopy light use efficiency under differing irradiance and soil N supplies in the forage grass *Brachiaria decumbens* Stapf. *Grass Forage Sci.*, v.68, n.3, p.395-407, 2013.

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.

GUERRA, C.R.S.B.; DE MORAES, M.L.T.; RECCO, C.R.S.B. et al. Forage yield and nutritive value of naturally growing *Brachiaria decumbens* as undergrowth to an aroeira tree stand in a silvopasture system. *Afr. J. Agric. Res.*, v.11, n.40, p.3922-3928, 2016.

GURGUEL, E.M.; SERAPHIM, O.J.; SILVA, I.J.O. Método de avaliação bioclimática da qualidade da sombra de árvores visando ao conforto térmico animal. *Energ. Agric.*, v.27, n.2, p.20-34, 2012.

HANKE, D.; MELO, V.F.; DIECKOW, J. et al. Influência da matéria orgânica no diâmetro médio de minerais da fração argila de solos desenvolvidos de basalto no Sul do Brasil. *R. Bras. Ci. Solo*, v.39, p.1611-1622, 2015.

HEIMANN, M.; REICHSTEIN, M. Terrestrial ecosystem carbon dynamics and climate feedbacks. *Nature*, v.451, n.7176, p.289-292, 2008.

HILL, J.; FARRISH, K.; OSWALD, B. et al. *Quality and yield of seven forages grown under partial shading of a simulated silvopastoral system in east Texas*. 2016. Disponível em: <<https://dl.sciencesocieties.org>>. Acesso em 10 nov. 2016.

HUNGRIA M.; NOGUEIRA, M.A.; ARAÚJO R.S. Inoculation of *Brachiaria* spp. with the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum brasilense*: An environment-friendly component in the reclamation of degraded pastures in the tropics. *Agric Ecosyst Environ.*, v.221, p.125-131, 2016.

IBGE. Sistema IBGE de recuperação automática, *SIDRA*. 2014. Disponível em <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pecua>> Acesso em: 15 out. 2016.

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. et al. Sistemas agroflorestais e seus efeitos sobre os atributos químicos em Argissolo Vermelho-Amarelo do Cerrado piauiense. *Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient*, v.16, n.2, p.730-738, 2012.

KELLER-GREIN, G.; MAASS, B.L.; HANSON, J. Natural Variation in Brachiaria and Existing Germplasm. In.: MILES, J.W.; MAASS, B.L.; VALLE, C.B. *Brachiaria: Biology, agronomy and improvement*. Cali, Colombia: International Center for Tropical Agriculture, 1996. p.16-42.

KIPTOT, E.; FRANZEL, S. Gender and agroforestry in Africa: a review of women's participation. *Agrofor Syst.*, v.84, n.1, p.35-58, 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.

KOVEN, C.D.; SCHUUR, E.A.G.; SCHÄDEL, C. et al. A simplified, data-constrained approach to estimate the permafrost carbon–climate feedback. *Phil. Trans. R. Soc. A.*, v.373, n.2054, p.1-23, 2015.

LA SCALA JÚNIOR, N.; DE FIGUEIREDO, E.B.; PANOSSO, A.R. A review on soil carbon accumulation due to the management change of major Brazilian agricultural activities. *Braz. J. Biol.*, v.72, n.3, (suppl.), p.775-785, 2012.

LAGANIÉRE, J.; ANGERS, D.A.; PARÉ, D. Carbon accumulation in agricultural soils after afforestation: a meta-analysis. *Glob Chang Biol.*, v.16, n.1, p.439-453, 2010.

LAMBERS, H.; RAVEN, J.A.; SHAVER, G.R.; SMITH, S.E. Plant nutrient-acquisition strategies change with soil age. *Trends Ecol Evol.*, v.23, n.2, p.95-103, 2008.

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.

LASCO, R.D.; HABITO, C.M.D.; DELFINO, R.J.P. et al. *Climate Change Adaptation for Smallholder Farmers in Southeast Asia*. Philippines: World Agroforestry Centre, 2011. p.22-23.

LENKA, N.K.; CHOUDHURY, P.R.; SUDHISHRI, S.; DASS, A. et al. Soil aggregation, carbon build up and root zone soil moisture in degraded sloping lands under selected agroforestry based rehabilitation systems in eastern India. *Agric. Ecosyst. Environ.*, v.150, p.54-62, 2012.

LINDGREN, P.M.; SULLIVAN, T.P. Response of forage yield and quality to thinning and fertilization of young forests: implications for silvopasture management. *Can J For Res.*, v.44, n.4, p.281-289, 2013.

LUO, Y.; AHLSTRÖM, A.; ALLISON, S.D. et al. Toward more realistic projections of soil carbon dynamics by Earth system models. *Global Biogeochem. Cycles*, v.30, n.1, p.40-56, 2016.

MADARI, B.; MACHADO, P.L.O.A; TORRES, E. et al. No tillage and crop rotation effects on soil aggregation and organic carbon in a Rhodic Ferralsol from southern Brazil. *Soil Till. Res.*, v.80, n.1-2, p.195-200, 2005.

MAIRE, G.L.; MARSDEN, C.; VERHOEF, W. et al. Leaf area index estimation with MODIS reflectance time series and model inversion during full rotations of *Eucalyptus* plantations. *Remote Sens Environ.* v.115, n.2, 586-599, 2011.

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

MATHUKIA, R.K.; SAGARKA B.K.; PANARA D.M. Fodder production through agroforestry: a boon for profitable dairy farming. *Innovare Journal of Agri. Sci*, v.4, n.2, p.13-19, 2016.

MBOW, C.; VAN NOORDWIJK, M.; LUEDELING, E. et al. Agroforestry solutions to address food security and climate change challenges in Africa. *Curr Opin Environ Sustain.*, v.6, p.61-67, 2014.

MIDGLEY, G.F.; DAVIES, I.D.; ALBERT, C.H., et al. BioMove – an integrated platform simulating the dynamic response of species to environmental change. *Ecography*, v.33, n.3, p.612-616, 2010.

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, 2013. p.39-42.

MURTY, D.; KIRSCHBAUM, M.U.F.; McMURTRIE, R.E.; McGILVRAY, H. Does conversion of forest to agricultural land change soil carbon and nitrogen? A review of literature. *Glob Chang Biol.*, v.8, n.2, p.105-123, 2002.

NAIR, P. K. R.; TONUCCI, R. G.; GARCIA, R.; NAIR, V. D. Silvopasture and carbon sequestration with special reference to the Brazilian savanna (Cerrado). In: KUMAR, B. M.; NAIR, P.K.R. (Ed.). *Carbon sequestration potential of Agroforestry System: opportunities and challenges*. London: New York: Springer, 2011. p.145-162.

NAIR, P.K.R. *Carbon sequestration studies in Agroforestry System: a reality-check*. *Agroforest Syst.*, v.86, n.2, p.243-253, 2012.

NAIR, P.K.R.; KUMAR, B.M.; NAIR, V.D. Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, v.172, n.1, p.10-23, 2009.

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.

NESPER, M.; BÜNEMANN, E.K.; FONTE, S.J. Pasture degradation decreases organic P content of tropical soils due to soil structural decline. *Geoderma*, v.257-258, p.123-133, 2015.

OBERSON, A.; NESPER, M.; FONTE, S. et al. Phosphorus and carbon relationships in tropical grassland soils. *BULLETIN BGS 34 (2013) Inhalt*, v.34, p.29-31, 2013.

ONG, C.K.; WILSON, J.; BLACK, C.R.; VAN NOORDWIJK, M. Synthesis: key agroforestry challenges in the future. In: ONG, C.K.; BLACK, C.R.; WILSON, J.(eds.) *Tree-crop interactions: agroforestry in a changing climate. 2nd ed.* Wallingford, UK, CAB International, 2015. p.326-334.

OLIVEIRA C.H.R., REIS G.G., REIS M.G.F. et al. Dynamics of eucalypt cultivares canopy and *Brachiaria brizantha* production in silvopastoral systems with different spatial arrangements. *Agrofor Syst.*, v.90, n. 6, p.1077-1088, 2016.

PACIULLO, D.S.C.; CAMPOS, N.R.; GOMIDE, C.A.M. et al. Crescimento de capim-braquiária influenciado pelo grau de sombreamento e pela estação do ano. *Pesq Agropec Bras*, v.43, n.7, p.917-923, 2008.

PACIULLO, D.S.C.; CARVALHO, C.A.B.; AROEIRA, L.J.M. et al. Morfofisiologia e valor nutritivo do capim braquiária sob sombreamento natural e a sol pleno. *Pesq Agropec Bras*, v.42, n.4, p.573-579, 2007.

PACIULLO, D.S.C.; GOMIDE, C.A.M.; CASTRO C.R.T. et al. Características produtivas e nutricionais do pasto em sistema agrossilvipastoril, conforme a distância das árvores. *Pesq Agropec Bras*, v.46, n.10, p.1176-1183, 2011.

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

PAGE, S.E.; RIELEY, J.O.; BANKS, C.J. Global and regional importance of the tropical peatland carbon pool. *Glob Chang Biol.*, v.17, n.2, p.798-818, 2011.

PAULA, R.R.; REIS, G.G.; REIS, M.G. et al. Eucalypt growth in monoculture and silvopastoral systems with varied tree initial densities and spatial arrangements. *Agrofor Syst.*, v.87, n.6, p.1295-1307, 2013.

PAUSTIAN, K.; LEHMANN, J.; OGLE, S. et al. Climate-smart soils. *Nature*, v.532, n.7597, p.49-57, 2016.

PEREIRA, A.C.M.; DE ALMEIDA, J.C.C.; MOREIRA, T.G.B. et al. Avaliação do componente arbóreo e forrageiro de sistemas silvipastoris na mesorregião dos “Campos das Vertentes” de Minas Gerais. *Rev Bras Agropecu Sustent.*, v.5; n.1, p.66-77, 2015.

PEREIRA, M.F.S.; JÚNIOR, N. J.; SÁ, J.R. et al. Ciclagem do carbono do solo nos sistemas de plantio direto e convencional. *Agr. Cient. no Semiárido*, v.9, n.2, p.21-32, 2013.

PEZARICO, C.R.; VITORINO, A.C.T.; MERCANTE, F.M.; DANIEL, O. Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais. *Revista de Ciências Agrárias*, v.56, n.1, p.40-47, 2013.

PRINGLE, M.J.; ALLEN, D.E.; PHELPS, D.G. et al. The effect of pasture utilization rate on stocks of soil organic carbon and total nitrogen in a semi-arid tropical grassland. *Agric Ecosyst Environ.*, v.195, p.83-90, 2014.

QIAO, N.A.; SCHAEFER, D.; BLAGODATSKAYA, E. et al. Labile carbon retention compensates for CO₂ released by priming in forest soils. *Glob chang biology*, v.20, n.6, p.1943-1954, 2014.

REDDY, C.M. Carbon cycle: A hump in ocean-air exchange. *Nat Geosci.*, v.9, p.415-416, 2016.

REIS, C.E.S.; DICK, D.P.; CALDAS, J.S.; BAYER, C. Carbon sequestration in clay and silt fractions of Brazilian soils under conventional and no-tillage systems. *Sci. agric.*, v.71, n.4, p.292-301, 2014.

SANTOS, C.G. Avaliação de gramíneas forrageiras tropicais em diferentes níveis de sombreamento. *Revista Científica de Produção Animal*, v.16, n.1, p.68-78, 2014.

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

SHANG, W.; WU, X.; ZHAO, L. et al. Seasonal variations in labile soil organic matter fractions in permafrost soils with different vegetation types in the central Qinghai-Tibet Plateau. *Catena*, v.137, 670-678, 2016.

SILVEIRA, D.D.P.; LEITE, H.G.; SILVEIRA, V.D.P.; MELIDO, R.C.N. Classification of *Eucalyptus* trees for poles in agroforestry system. *Revista Árvore*, v.35, n.4, p.875-882, 2011.

SOARES, A.B.; SARTOR, L.R.; ADAMI, P.F., et al. Influência da luminosidade no comportamento de onze espécies forrageiras perenes de verão. *Rev Bras Zootec.*, v.38, n.3, p.443-451, 2009.

SOUSA, L.F., MAURÍCIO, R.M., MOREIRA, G.R. et al. Nutritional evaluation of “Braquiaraão” grass in association with “Aroeira” trees in a silvopastoral system. *Agrofor Syst.*, v.79, n.2, p.189-199, 2010.

STEWART, C.E.; PAUSTIAN, K.; CONANT, R.T. et al. Soil carbon saturation: Implications for measurable carbon pool dynamics in long-term incubations. *Soil Biol Biochem.*, v.41, n.2, p.357-366, 2009.

SULMAN, B.N.; PHILLIPS, R.P.; OISHI, A.C. et al. Microbe-driven turnover offsets mineral-mediated storage of soil carbon under elevated CO₂. *Nat Clim Change*, v.4, n.12, p.1099-1102, 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.

THE WORLD BANK. *Carbon sequestration in agricultural soils*. 1 ed. Washington, DC: World Bank, 2012. p.18-19.

TOSTA, X.M.; RODRIGUES, R.C.; SANCHÊS, S.S. et al. Nutritive value and in situ rumen degradability of Marandú palisade grass at different locations within the pasture in a silvopastoral system with different babassu palm densities. *Trop grassl.-Forrajes trop.*, v.3, n.3, p.187-193, 2015.

TUBIELLO, F.N.; SALVATORE, M.; ROSSI, S. et al. The FAOSTAT database of greenhouse gas emissions from agriculture. *Environ Res Lett.*, v.8, n.1, p.1-10, 2013.

VILELA, L.; MARTHA JÚNIOR, G.B.; MACEDO, M.C.M. et al. Sistemas de integração lavoura-pecuária na região do Cerrado. *Pesq. Agropec. Bras.*, v.46, n.10, p.1127-1138, 2011.

WEI, X.; SHAO, M.; GALE, W.; LI, L. Global pattern of soil carbon losses due to the conversion of forests to agricultural land. *Scientific reports*, v. 4, p.4062, 2014.

WIEDER, W.R.; GRANDY, A.S.; KALLENBACH, C.M.; BONAN, G.B. Integrating microbial physiology and physio-chemical principles in soils with the Microbial-Mineral Carbon Stabilization (MIMICS) model. *Biogeosciences*, v.11, n.14, p.3899-3917, 2014.

XAVIER, D.F.; DA SILVA LÉDO, F.J.; DE CAMPOS PACIULLO, D.S. et al. Nitrogen cycling in a Brachiaria-based silvopastoral system in the Atlantic forest region of Minas Gerais, Brazil. *Nutr Cycl Agroecosys.*, v.99, n.1-3, p.45-62, 2014.

ZHANG, Y.; XIAO, Q.; HUANG, M. Temporal stability analysis identifies soil water relations under different land use types in an oasis agroforestry ecosystem. *Geoderma*, v.271, p.150-160, 2016.

ZOMER R. J, TRABUCCO A.; COE R.; PLACE F. et al. *Trees on farms: an update and reanalysis of agroforestry's global extent and socio-ecological characteristics*. Working Paper 179. Bogor, Indonesia: World Agroforestry Centre (ICRAF) Southeast Asia Regional Program, 2014. 33p.

ZOMER, R.J.; TRABUCCO, A.; DA BOSSIO, D.A.; VERCHOT, L.V. Climate change mitigation: a spatial analysis of global land suitability for clean development mechanism afforestation and reforestation. *Agric Ecosyst Environ.*, v.126, n.1-2, p. 67- 80, 2008.

CAPÍTULO 2 - INFLUÊNCIA DE ARRANJOS E CULTIVARES DE EUCALIPTO NA PRODUTIVIDADE DO CAPIM *Urochloa decumbens* EM SISTEMA SILVIPASTORIL EM REGIÃO DO CERRADO

2.1 Resumo

Sistema silvipastoril (SSP) tem sido sugerido como alternativa para recuperação de pastagens degradadas. Nesse estudo, avaliou-se o desempenho produtivo da *Urochloa decumbens* em SSP com cultivares de *Eucalyptus* spp. GG100, VM58 e I144 e em arranjos espaciais de (3x2) + 20m, (2x2) + 9 m e 9x2m. O ensaio foi realizado no Campo Experimental Santa Rita/Epamig, Prudente de Moraes, Minas Gerais. Foram mensurados a produtividade, altura do dossel e a porcentagem dos componentes folha, colmo e material senescente na matéria seca total da forragem. O cultivar utilizado na integração não apresentou efeito sobre os parâmetros avaliados. No SSP a altura da forrageira não diferiu em relação ao arranjo espacial do sistema, no entanto, a produção de matéria seca foi superior no arranjo (3x2) + 20m. Nesse arranjo também constatou maior acúmulo de material senescente. A produtividade da *U. decumbens* em SSP na comparação com a pastagem a pleno sol, foi inferior em 58,6, 85,6 e 80,4% para os arranjos (3x2) + 20m, (2x2) + 9m e de 9x2m, respectivamente. A integração entre *U. decumbens* e *Eucalyptus* sp. no sistema silvipastoril resulta em redução do material senescente, por outro lado ocorre em perdas significativas na produtividade da forrageira.

Palavras chave: forragem; matéria seca; sistemas agroflorestais; sombreamento; relação folha: colmo.

2.2 Introdução

O sistema silvipastoril (SSP) integra na mesma área, atividades relacionadas à pecuária e floresta. Em virtude do incremento na biomassa vegetal oriunda da inclusão de arbóreas atribuem-se vantagens do ponto de vista ambiental. Com a preocupação acerca das mudanças climáticas esse modelo de produção ganhou notoriedade no meio técnico e científico. Assim, nas últimas décadas houve aumento relevante na área ocupada por sistemas agroflorestais, entre os quais se insere o SSP (Zomer et al., 2008; Nair et al., 2009).

O Brasil possui o segundo maior rebanho de bovinos, contabilizado em 228 milhões de cabeças (USDA, 2017). A pecuária no país apresenta características extensivas, com relevante uso de pastagens do gênero *Urochloa* como base alimentar. Estima-se que mais de 70% das áreas de pastos apresentam-se algum grau de degradação (Dias-Filho, 2014). Assim,

a melhoria dos índices de produtividade da pecuária nacional demanda, obrigatoriamente a melhoria do desempenho na produção de forrageiras.

A recuperação de pastagens mediante a inclusão de arbóreas contribui para o bem-estar animal e representa uma fonte adicional de renda ao produtor. Melhora no valor nutricional da forrageira também têm sido descritos como ganhos da integração (Paciullo et al., 2014). *Eucalyptus* spp. constitui o gênero mais empregado nesse propósito em regiões tropicais (Tonucci et al., 2011), sendo amplamente empregado em sistemas silvipastoris com forrageiras do gênero *Urochloa* (Lindgren e Sullivan, 2014).

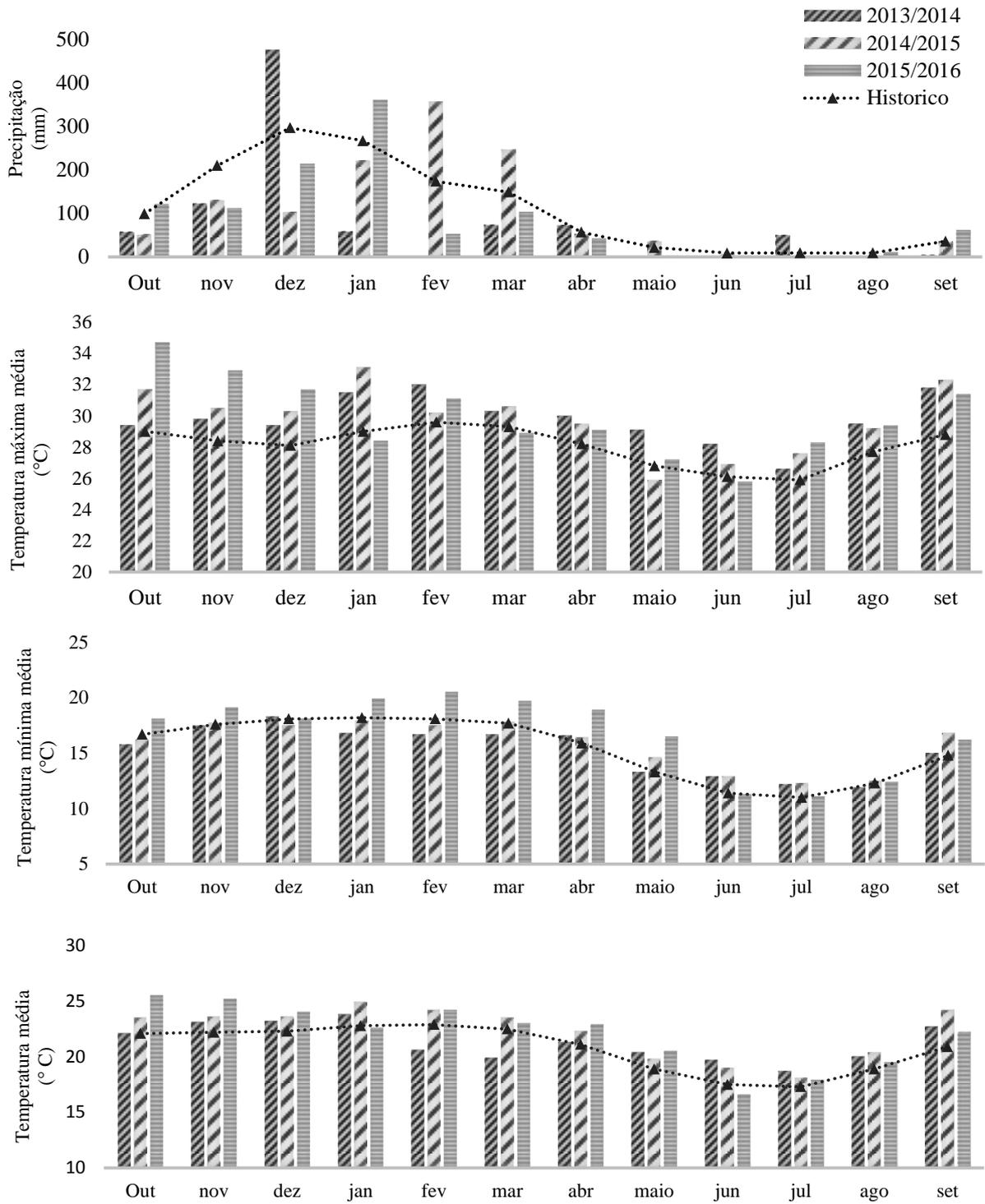
A inclusão do componente florestal na pastagem promove aumento na competição por recursos (Costa et al. 2016). No sub-bosque a luminosidade constitui um dos recursos mais limitantes, uma vez que as arbóreas interceptam parte expressiva da radiação. A radiação fotossinteticamente ativa incidente sobre o dossel apresenta papel crucial no desempenho produtivo da forrageira.

A *U. decumbens* apresenta alta plasticidade fenotípica e utiliza de mecanismos morfofisiológicos como tentativa de maximizar a captação da luminosidade (Paciullo et al., 2011). Essa característica permite a forrageira manter níveis de produtividade satisfatórios mesmo sob intensidade de sombreamento moderado. Nesse contexto, o arranjo espacial dos componentes, aliado à escolha de espécies arbóreas com estrutura aérea que permita menor interceptação da luminosidade, possibilita maximizar a produtividade no SSP. O objetivo desse estudo foi avaliar a produtividade da *Urochloa decumbens* em sistema silvipastoril com cultivares de *Eucalyptus* spp. GG100, VM58 e I144 nos arranjos (3x2) + 20m, (2x2) + 9 m e 9x2m.

2.3 Material e métodos

2.3.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido no Campo Experimental Santa Rita pertencente à Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (Epamig). A unidade localiza-se no município de Prudente de Moraes, Estado de Minas Gerais, Brasil, nas coordenadas de latitude 19°27'15'' Sul e Longitude 44°09'11'' Oeste e altitude de 732m. Conforme classificação de Köppen, o clima é do tipo AW, com período chuvoso entre outubro e abril e seca de maio a setembro. Os dados climatológicos registrados ao longo do período experimental, bem como o histórico dos últimos 30 anos estão descritos na Figura 1.



Fonte: CNPMS/Embrapa; INMET

Figura 1 – Precipitação pluviométrica, temperatura máxima, mínima e média mensais ao longo o período experimental e histórico climatológico da área

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, textura argilosa (Embrapa, 2013). Na ocasião da implantação da área experimental foram realizadas análises químicas nas profundidades de 0 a 20 e 20 a 40 cm (Quadro 1).

Quadro 1 - Características químicas do solo da área experimental nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm

Profundidade Cm	pH ¹	H+Al ² cmol _c dm ⁻³	Al ³	Ca ³	Mg	K ⁴ Mg dm ³	P ⁴	MO ⁵ dag kg ⁻¹
0-20	5,4	7,5	0,2	3,2	0,7	70,3	3,7	4,3
20-40	5,3	7,6	0,6	2,5	0,5	56,7	3,7	4,3

¹ pH- H₂O relação 1:2,5; ²Extrator Ca (OAc)₂ 0,5 mol pH 7,0; ³Extrator KCl 1 mol/L; ⁴Extrator Mehlich-1; ⁵Método Walkley e Black.

2.3.2 Histórico da área experimental

O sistema silvipastoril foi implantada em 2008 como estratégia de recuperação de uma pastagem de *Urochloa decumbens* formada a 15 anos. No ano da implantação foi efetuada dessecação da cobertura vegetal, mediante o uso de herbicida, e aplicação de duas toneladas hectare⁻¹ de calcário dolomítico para correção da acidez. No plantio realizou-se a gradagem, subsolagem nas linhas de plantio do eucalipto e a aplicação de 400 kg ha⁻¹ de fosfato natural reativo.

Nos três primeiros ciclos agrícolas, referentes aos anos 2009/2010; 2010/2011 e 2011/2012 foram cultivados milho (*Zea mays*) consorciado com *Urochloa decumbens* cv. Basilisk (syn. *Brachiaria decumbens*) nas faixas entre os renques de *Eucalyptus* spp. A implantação do consórcio foi conduzida na área entre os renques. Nessa, considerou-se a distância mínima de 1,5 m da linha de eucalipto para o plantio das forrageiras.

A adubação de manutenção das pastagens no silvipastoril foi de 100 kg de N e 100 kg de K₂O ha⁻¹ em 2013/2014 e 2014/2015 e de 100 kg de N, 40 kg de K₂O e 50 kg de P₂O₅ ha⁻¹ ano⁻¹ em 2015/2016. As aplicações dos fertilizantes foram realizadas nos meses de dezembro. A dose de N foi dividida em duas aplicações, sendo a segunda realizada nos meses de março de 2014, 2015 e de 2016. Todas as aplicações de corretivos e fertilizantes foram efetuadas conforme recomendações descritas por Ribeiro et al., (1999). As arbóreas foram submetidas a desramas em setembro de 2009 e em março de 2010.

2.3.3 Descrição dos tratamentos

Na ocasião de coleta de dados os sistemas caracterizavam-se como silvipastoril (SSP) composto pelo eucalipto disposto em dois arranjos de linha dupla de $(3 \times 2) + 20$ m (434 árvores ha^{-1}) e $(2 \times 2) + 9$ m (909 árvores ha^{-1}) e um em linha simples de 9×2 m (556 árvores ha^{-1}). Os renques foram estabelecidos no sentido Leste-Oeste. Dentro dos arranjos implantaram-se faixas com os cultivares GG100, I144 (*E. grandis* x *E. urophylla*) e VM 58 (*E. grandis* x *E. camaldulensis*).

Em área adjacente ao silvipastoril estabeleceram-se duas pastagens, ambas com área de 1ha. Uma dessas recebeu manejo similar ao utilizado na forragem em sistema de integração. A segunda classificada como pastagem degradada, não foi submetida à correção de acidez do solo e de fertilidade.

2.3.4 Coleta de amostras da forrageira

A produtividade da forrageira foi mensurada ao longo dos anos agrícolas de 2014/2015 (ciclo 1) e 2015/2016 (ciclo 2). Os cortes foram realizados em 18/12/2014, 23/01/2015, 13/04/2015, 10/06/2015 (ciclo 1); 01/12/2015, 25/01/2016, 21/03/2016 e 24/05/2016 (ciclo 2). Desse modo, foram realizados quatro cortes em cada ciclo agrícola.

A amostragem foi conduzida no SSP por meio de faixas aleatórias que se estendiam de 1m da linha do eucalipto ao centro da parcela em ambos os lados do renque (Figura 2). Desse modo, a observação de cada unidade experimental foi constituída pela média das mensurações efetuadas nas faixas a direita e a esquerda das arbóreas. Nessas mensurou-se altura do dossel em seis pontos aleatórios.

Nas pastagens em monocultura fez-se a amostragem por meio de quadros metálicos com área de 1m^2 (1×1 m), lançados aleatoriamente em quatro pontos. De modo semelhante ao SSP, mensurou-se a altura da pastagem em seis pontos dentro da área do quadro. Procederam-se os cortes em todos os tratamentos nas mesmas datas, sendo realizado quando a pastagem atingia altura entre 30 e 40 cm no sistema silvipastoril. O monitoramento da altura da forrageira era conduzida semanalmente.

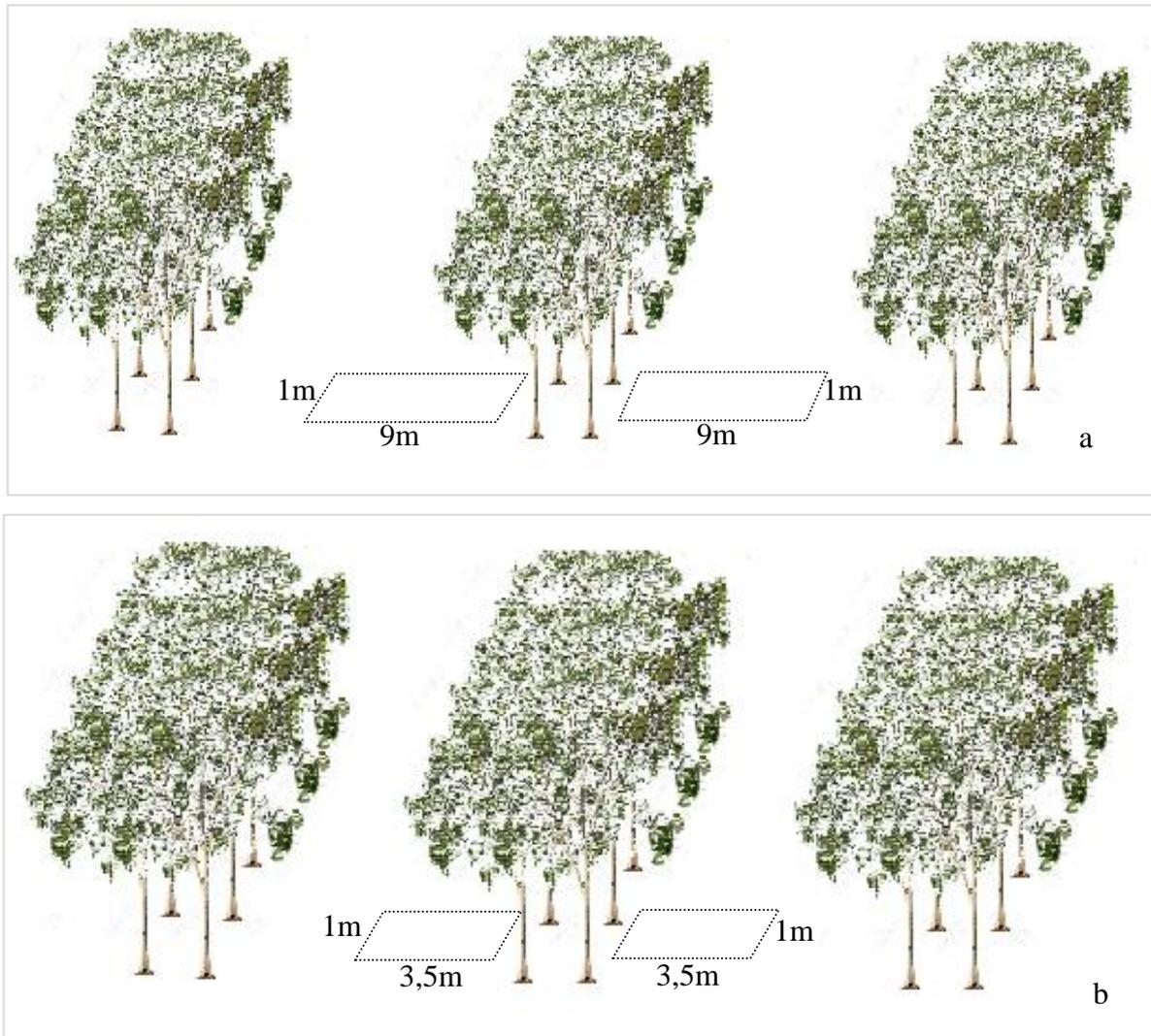


Figura 2 – Esquema de coleta de amostras de forragem no sistema silvipastoril nos arranjos (3x2) + 20m (a), (2x2) + 9m e 9x2m (b)

Nos locais amostrados, a pastagem foi colhida até a altura de 15 cm (altura de resíduo), para determinação da oferta de forragem. Posteriormente, as amostras foram pesadas e secas em estufa de circulação forçada de ar a 55 °C, até a obtenção de peso constante. Após a pré-secagem, realizou-se a moagem das amostras em moinho tipo Willey (1 mm), quantificando a matéria seca total conforme metodologia de Silva e Queiroz (2002).

A forrageira foi separada nas frações lâmina foliar, colmo (colmo+bainha foliar), inflorescência e material senescente em coletas realizadas nos dias 13/01/2014 (ciclo 1), 23/01/2015 (ciclo 2) e 25/01/2016 (ciclo 3). Para esse procedimento as amostras coletadas foram pesadas frescas e posteriormente separadas nas respectivas frações. Após separação, quantificou-se o teor de matéria pré-seca e matéria seca. A relação lâmina foliar: colmo foi estimada por meio da razão entre a massa seca de lâmina foliares e de colmos.

Após a mensuração dos parâmetros de produção da forrageira as áreas de SSP e as pastagens em monocultivo eram pastejadas por bovinos mestiços (Holandês x Zebu) até a altura residual média de 15cm. Os animais, com peso médio de 400 kg, eram alocados na área por um período de no máximo sete dias. Assim, utilizou-se taxa de lotação variável ao longo dos sucessivos cortes em função da forragem disponível.

Para o primeiro ciclo (2013/2014) a produtividade não foi mensurada em decorrência da ausência de quantificação da matéria seca total para o primeiro corte do referido ano agrícola. Desse modo, avaliou-se apenas a porcentagem das frações (folha, colmo, material senescente e inflorescência) nesse período.

2.3.5 Análises estatísticas

Os dados de produção de forragem foram submetidos aos testes de Lilliefors e Bartlett para verificação de distribuição da normalidade e homocedasticidade, respectivamente. Para efeito de comparação das respostas dentro do sistema silvipastoril utilizou-se o delineamento em blocos ao acaso em arranjo de parcelas sub-subdivididas conforme modelo estatístico:

$$Y_{ijkm} = \mu + B_m + A_i + l_{im} + S_j + (AS)_{ij} + \alpha_{ijk} + C_k + (AC)_{ik} + (SC)_{jk} + (ASC)_{ijk} + \gamma_{ijkm}, \text{ em que:}$$

Y_{ijkm} = observação do arranjo i, no cultivar j, do ano agrícola k, no bloco m,

μ = efeito médio geral,

B_m = efeito do bloco m, sendo m = 1, 2 e 3;

A_i = efeito do arranjo i, sendo i = (3x2) + 20 m, (2x2) + 9 m e 9x2 m;

l_{im} = efeito do erro aleatório atribuído à parcela do arranjo i no bloco m;

S_j = efeito do cultivar j, sendo j = GG100, I144 e VM58;

$(AS)_{ij}$ = efeito da interação arranjo e cultivar;

α_{ijm} = erro aleatório atribuído à sub-parcela do arranjo i, do cultivar j do bloco m;

C_k = efeito do ano agrícola k, sendo k = 2013/2014, 2014/2015 e 2015/2016 (fracionamento da matéria seca) e 2014/2015 e 2015/2016 (produtividade e altura do dossel)

$(AC)_{ik}$ = efeito da interação arranjo e ano agrícola;

$(SC)_{jk}$ = efeito da interação cultivar e ano agrícola;

$(ASE)_{ijk}$ = efeito da interação entre arranjo, cultivar e ano agrícola;

γ_{ijkm} = erro aleatório atribuído à sub-subparcela do arranjo i, no cultivar j, ano agrícola K do bloco m.

Para avaliação do efeito da época de corte na forrageira, fez-se a média das suparcelas (cultivar) dentro da respectiva parcela (arranjo). O valor obtido foi considerado como a

observação para o arranjo. Esse procedimento foi utilizado em função de análise estatística a priori indicando a ausência do efeito significativo para cultivares nas variáveis avaliadas. Desse modo, os dados referentes a produção e altura de dossel foram analisados também por meio do seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ijkm} = \mu + B_m + A_i + l_{im} + C_j + (AC)_{ij} + \alpha_{ijk} + H_k + (AH)_{ik} + (CH)_{jk} + (ACH)_{ijk} + \gamma_{ijkm}, \text{ onde:}$$

Y_{ijkm} = Observação do arranjo i no ano agrícola j do corte k no bloco m,

μ = média geral,

B_m = efeito do bloco m, onde $m = 1, 2$ e 3 ;

A_i = Efeito do arranjo i, onde $i = (3 \times 2) + 20$ m, $(2 \times 2) + 9$ m e 9×2 m;

l_{im} = efeito do erro aleatório atribuído à parcela do arranjo i no bloco m;

C_j = efeito do ano agrícola k, sendo $k = 2014/2015$ e $2015/2016$;

$(AC)_{ij}$ = efeito da interação arranjo e ano agrícola;

α_{ijm} = erro aleatório atribuído à sub-parcela do arranjo i, do ano agrícola j do bloco m;

H_k = Efeito do corte k, onde $k = 1, 2, 3$ e 4 ;

$(AH)_{ik}$ = efeito da interação arranjo e corte;

$(CH)_{jk}$ = efeito da interação ano agrícola e corte;

$(ACH)_{ijk}$ = efeito da interação arranjo, ano agrícola e corte;

γ_{ijkm} = erro aleatório atribuído à sub-subparcela do arranjo i, no ano agrícola j, corte K do bloco m.

Para comparação entre as médias dos tratamentos no sistema silvipastoril foi utilizado o teste Student-Newman-Keuls (SNK) a 5% de probabilidade de erro para rejeição da hipótese de nulidade.

Foram realizadas análises de contraste dos dados de produção de matéria seca entre os arranjos espaciais e as pastagens adubada e sem adubação, utilizando-se o teste de Fisher ($p < 0,05$ (Quadro 2)).

Quadro 2 - Contrastes ortogonais para comparação entre os arranjos e cultivares e as pastagens em monocultivo adubada e sem adubação

Arranjo	Cultivar	Contrastes					
(3x2) + 20 m	GG100	-1	-	-	-1	-	-
	I144	-1	-	-	-1	-	-
	VM58	-1	-	-	-1	-	-
(2x2) + 9 m	GG100	-	-1	-	-	-1	-
	I144	-	-1	-	-	-1	-
	VM58	-	-1	-	-	-1	-
9x2 m	GG100	-	-	-1	-	-	-1
	I144	-	-	-1	-	-	-1
	VM58	-	-	-1	-	-	-1
Pastagem monocultura	Adubada	3	3	3	-	-	-
	s/adubação	-	-	-	3	3	3

2.4 Resultados

A relação folha: colmo e a porcentagem de folhas na matéria seca total no SSP apresentaram interação entre arranjo espacial e ano agrícola ($P < 0,05$). Verificou-se maiores médias para ambas respostas no período de 2014/2015 (Tabela 1).

Tabela 1 – Participação da lâmina foliar na matéria seca total (%) e relação folha colmo de *Urochloa decumbens* em sistema silvipastoril com *Eucalyptus* spp. sob diferentes arranjos espaciais nos anos agrícolas de 2013/2014, 2014/2015 e 2015/2016

Fração	Ano agrícola	Arranjo			p^2	EPM ³
		(3x2) + 20	(2x2) + 9	9x2		
Folha	2013/2014	40,97 aB ¹	40,73 aB	42,69 aB	0,021	1,38
	2014/2015	49,34 aA	50,04 aA	50,00 aA		
	2015/2016	34,08 bC	44,75 aAB	44,61 aAB		
Folha/colmo	2013/2014	1,02 aB	0,96 aB	0,99 aB	0,029	0,05
	2014/2015	1,19 aA	1,24 aA	1,21 aA		
	2015/2016	0,68 bC	0,93 aB	0,94 aB		

¹Médias seguidas por letras distintas, minúscula na linha e maiúscula na coluna, diferem pelo teste SNK ($p < 0,05$); ² Erro tipo 1; ³ Erro padrão da média; $n=9$

As proporções de colmo, material senescente e inflorescência não apresentaram interação entre arranjo espacial e ano agrícola ($p < 0,05$). Também não se constatou efeito do arranjo, exceto para material senescente o qual se mostrou superior no arranjo com menor densidade de arbóreas (Tabela 2).

Tabela 2 – Porcentagem de colmo e material senescente (% da MS total) de *Urochloa decumbens* em sistema silvipastoril com *Eucalyptus* spp. sob diferentes arranjos espaciais

Fração % da MS total	Arranjo			Probabilidade	Erro padrão da média
	(3x2) + 20	(2x2) + 9	9x2		
Colmo	44,14	43,81	44,11	0,973	1,08
Material senescente	11,70 a	8,23 b	7,21 b	0,021	0,20
Inflorescência	3,03	2,53	2,84	0,918	0,09

¹Médias seguidas por letras distintas, na linha diferem pelo teste SNK ($p < 0,05$); $n=27$

Verificou-se incremento nas proporções de matéria seca proveniente das frações colmo e material senescente do segundo e o terceiro ciclos (tabela 3). Com relação aos cultivares, os materiais utilizados na integração não apresentaram efeito sobre a composição da forrageira quanto às frações avaliadas, tampouco na relação folha: colmo ($p < 0,05$).

Tabela 3 – Matéria seca de colmo e material senescente (% da MS total) e inflorescência de *Urochloa decumbens* em sistema silvipastoril com *Eucalyptus* spp. nos anos agrícolas de 2013/2014, 2014/2015 e 2015/2016

Fração % da MS total	Ano agrícola			Probabilidade	Erro padrão da média
	2013/2014	2014/2015	2015/2016		
Colmo	42,25 b	41,23 b	48,58 a	<0,001	0,58
Material senescente	14,56 a	4,44 c	8,14 b	<0,001	0,12
Inflorescência	1,73 b	4,54 a	2,13 b	<0,001	0,13

¹Médias seguidas por letras distintas, na linha diferem pelo teste SNK ($p < 0,05$); $n=27$

A relação folha: colmo não diferiu entre as pastagens em monocultivo ($p > 0,05$). As médias obtidas para os três anos agrícolas foram de 1,16 e 1,11 para o manejo sob adubação e sem adubação, respectivamente. Verificou-se que em todos os arranjos avaliados a média para essa variável se mostrou inferior à observada na *U. decumbens* manejada com adubação em monocultivo (tabela 4).

Tabela 4 – Estimativa dos contrastes entre a pastagem em monocultivo adubada e sem adubação em função dos arranjos de eucalipto para a relação folha: colmo, teor de folhas e de material senescente na matéria seca total de *Urochloa decumbens* em sistema silvipastoril

Variável	Arranjo	Pastagem			
		Sob adubação		Sem adubação	
		Estimativa	Probabilidade	Estimativa	Probabilidade
Relação folha: colmo	3x2+20 m	0,20	0,001*	0,15	0,010
	2x2+9 m	0,12	0,034	0,07	0,211
	9x2 m	0,11	0,043	0,06	0,254
Folha	3x2+20 m	2,28	0,249	-2,71	0,174
	2x2+9 m	-1,43	0,466	-6,42	0,003
	9x2 m	-2,02	0,305	-7,01	0,001
Material Senescente	3x2+20 m	4,73	0,202	12,57	0,001
	2x2+9 m	8,20	0,009	16,03	0,0001
	9x2 m	9,22	0,004	17,06	0,0001

* teste de Fisher.

Com relação à participação da fração lâmina foliar na matéria seca total da *U. decumbens* as médias obtidas nos sistemas monocultivo com e sem adubação foram de 43,74 e 38,75%, respectivamente. Constatou-se semelhança na comparação dessa resposta entre os arranjos espaciais com os sistemas de monocultivo, exceto o SSP com nove metros entre renques. Esses apresentaram maior participação dessa fração na composição da matéria seca total da forrageira.

O teor de material senescente foi superior na pastagem em monocultivo manejada sem adubação (24,27%) em relação àquela na qual se efetuou essa prática (16,43%). No contraste entre essas e os SSP, constaram-se que os arranjos espaciais com nove metros entre renques apresentaram teores inferiores dessa fração na matéria seca total da planta (tabela 4).

As proporções de colmo e bainha foliar na matéria seca total da forrageira foram semelhantes entre as duas pastagens em monocultivo ($p > 0,05$). As médias foram de 37,85 e 35,58% na *U. decumbens* manejada com e sem adubação, respectivamente. Independente da aplicação ou não de fertilizantes, a forragem sem a presença das arbóreas apresentou menor teor de matéria seca oriunda dessa fração (tabela 5).

Tabela 5 – Estimativa dos contrastes entre a pastagem em monocultivo adubada e sem adubação com o sistema silvipastoril para os teores de colmo na matéria seca total de *Urochloa decumbens*

Variável	Pastagem			
	Sob adubação		Sem adubação	
	Estimativa	Probabilidade	Estimativa	Probabilidade
Colmo	-6,15*	0,0001	-8,43	0,0001

* teste de Fisher.

Na análise da produtividade da *U. decumbens* no sistema silvipastoril foi verificado efeito isolado dos fatores arranjo espacial ($p=0,0003$) e ano agrícola ($p=0,0001$). Maiores volumes da forrageira foram obtidas no arranjo menos adensado (Figura 3). Com relação ao cultivar utilizado, não se constatou efeito sobre o desempenho produtivo no SSP ($p=0,2457$).

Na análise do efeito do corte para os anos agrícolas 2014/2015 e 2015/2016 verificou-se ausência de interação entre essas variáveis ($p=0,2837$). Foi observado aumento na produção de massa verde nos dois períodos e consequentemente, de matéria seca entre o segundo e terceiros cortes da forrageira (Figura 3d).

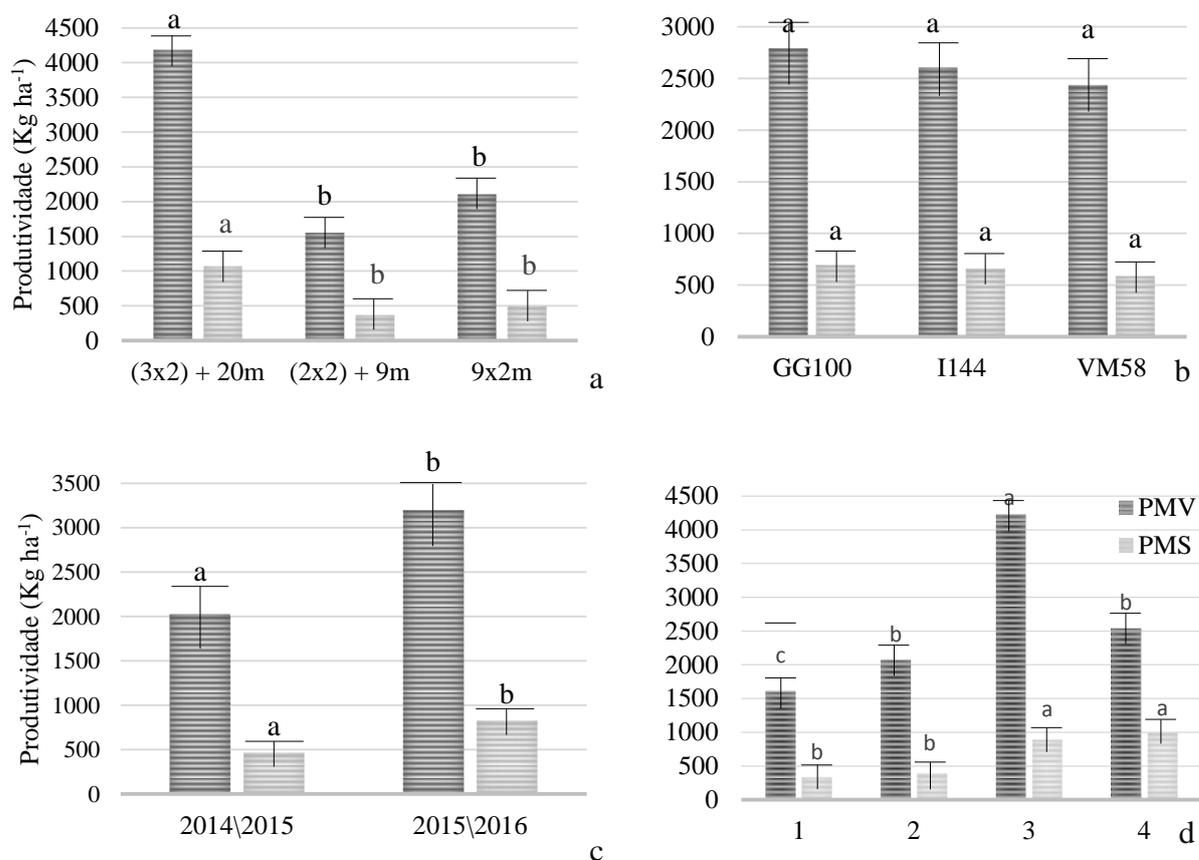


Figura 3 – Produtividade média de matéria verde (PMV) e matéria seca (PMS) (kg ha⁻¹) de *Urochloa decumbens* sob sistema silvipastoril em função do arranjo (a), cultivar de eucalipto (b), ano agrícola (c) e corte (d)

Letras minúsculas comparam as médias pelo teste SNK ($p<0,05$)

A altura média do dossel forrageiro no SSP foi superior no ano agrícola de 2015/2016 (39,8cm) em relação à 2014/2015 (35,8cm). Essa resposta na *U. decumbens* não variou em função do arranjo espacial ($p=0,0673$) e do cultivar utilizado no silvipastoril ($p=0,5872$) (Figura 4).

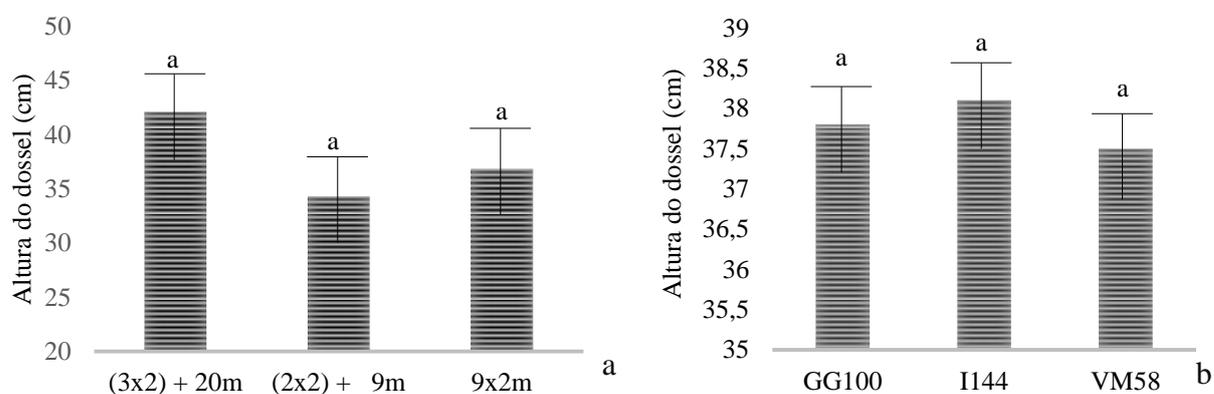


Figura 4 – Altura do dossel forrageiro (cm) de *Urochloa decumbens* sob sistema silvipastoril em função do arranjo (a) e cultivar de eucalipto (b)
Letras minúsculas comparam as médias pelo teste SNK ($p<0,05$)

A altura do dossel não apresentou efeito da interação corte e arranjo espacial ($p=0,7193$). Por outro lado, houve interação com o ano agrícola sobre essa resposta na forrageira no SSP ($p= 0,0173$). Em ambos períodos, menores médias foram obtidas no último corte realizado (Tabela 6).

Tabela 6 – Altura do dossel forrageiro (cm) de *Urochloa decumbens* em sistema silvipastoril com *Eucalyptus* spp. sob diferentes arranjos espaciais nos anos agrícolas de 2014/2015 e 2015/2016

Ano agrícola	Corte				p	EPM
	1	2	3	4		
2014/2015	35,46 abA ¹	36,45 aB	39,56 aA	31,46 bA	0,0173 ²	1,21 ³
2015/2016	39,14bA	45,37 aA	41,49 bA	33,23 cA		

¹Médias seguidas por letras distintas, minúscula na linha e maiúscula na coluna, diferem pelo teste SNK ($p<0,05$); ² Erro tipo 1; ³ Erro padrão da média; n=9

A produtividade da *U. decumbens* cultivada a sol pleno não diferiu entre as duas pastagens (com e sem adubação) ($p=0,3915$). A média obtida por corte foi de 2.340,5 kg de MS ha⁻¹, para os anos agrícolas de 2014/2015 e 2015/2016. Foi constatada interação entre os fatores ano agrícola e corte, no primeiro período constatou-se incremento gradual entre o primeiro e o quarto corte. Para o segundo, as médias foram semelhantes entre os cortes efetuados (Tabela 7). A altura do dossel forrageiro no sistema sob sol pleno também

apresentou efeito da interação ano agrícola e corte (Tabela 7). Foi observado aumento da altura da forrageira na ocasião do corte da *U. decumbens* no período de 2014/2015.

Tabela 7 – Produtividade (kg MS ha⁻¹) e altura do dossel forrageiro (cm) de *Urochloa decumbens* sob condições de sol pleno

Ano agrícola	Corte				p	EPM
	1	2	3	4		
Produtividade (kg MS ha ⁻¹)						
2014/2015	1.147,4 cB ¹	1.613,0 cB	2.249,6 bA	3.475,6 aA	0,0001 ²	293,8 ³
2015/2016	2.390,3 aA	2.829,8 aA	2.684,6 aA	2.335,4 aB		
Altura do dossel (cm)						
2014/2015	27,6 cB	33,7 bB	38,63 abA	41,6 aA	0,0001	1,53
2015/2016	47,8 aA	42,7 bA	40,9 bA	34,3 cB		

¹Médias seguidas por letras distintas, minúscula na linha e maiúscula na coluna, diferem pelo teste SNK (p<0,05); ² Erro tipo 1; ³ Erro padrão da média; n=8

A produtividade anual da *U. decumbens* para os anos agrícolas de 2014/2015 e 2015/2016 foi semelhante entre as pastagens em pleno sol. As médias foram de 10.248,8 e de 8.476,9 kg de MS ha⁻¹ ano⁻¹ para os manejos adubados e sem adubação, respectivamente. Com relação ao silvipastoril a produtividade anual foi superior no arranjo espacial de (3x2) + 20m (4.241,6 kg de MS ha⁻¹ ano⁻¹) em relação ao de 9x2m (2.004,1 kg de MS ha⁻¹ ano⁻¹) e ao de (2x2) + 9m (1.472,6 kg de MS ha⁻¹ ano⁻¹). Na análise de contrastes constatou-se que, independente do arranjo espacial, a *U. decumbens* apresentou reduções de pelo menos uma tonelada de matéria seca por corte no sistema integrado (Tabela 8).

Tabela 8 – Estimativa dos contrastes entre a pastagem em monocultivo adubada e sem adubação em função dos arranjos de eucalipto para a produtividade por corte (kg MS ha⁻¹) *Urochloa decumbens* em sistema silvipastoril

Variável	Arranjo	Pastagem			
		Sob adubação		Sem adubação	
		Estimativa	Probabilidade	Estimativa	Probabilidade
Produtividade	3x2+20 m	1.501,8	0,0001	1.058,8	0,0001
	2x2+9 m	2.194,1	0,0001	1.751,1	0,0001
	9x2 m	2.061,2	0,0001	1.618,2	0,0001
Altura do dossel	3x2+20 m	-2,4	0,203	-4,2	0,064
	2x2+9 m	4,6	0,053	3,5	0,119
	9x2 m	2,1	0,339	1,0	0,457

* teste de Fisher.

2.5 Discussão

Na análise da *U. decumbens* em relação ao teor de lâmina foliar na matéria seca total no SSP verificou-se maior variação na proporção dessa fração no arranjo (3x2) + 20m (Tabela 1). Na avaliação efetuada para o ano agrícola 2015/2016 a proporção na MS nesse arranjo foi 23,8% inferior à observada no (2x2) + 9m e 23,6% à do 9x2m. Como consequência da redução do conteúdo de folhas na MS, menor relação folha: colmo também foi obtida nesse arranjo no ano de 2015/2016.

De modo geral, constatou-se pouca variabilidade na comparação entre os arranjos quanto à relação folha: colmo dentro dos três períodos avaliados, a exceção de 2015/2016. Nesse último, as médias oscilaram de 0,68 a 0,94 (38,2% de oscilação). A relação folha: colmo é bastante influenciada pelo nível de radiação incidente (Goméz et al., 2013). A variação na luminosidade pode resultar em estiolamento do colmo e no aumento da área foliar específica. Ambas respostas morfológicas estão fortemente associadas à relação folha: colmo, porém em sentidos opostos.

Os teores das frações colmo e inflorescência foram semelhantes entre os arranjos em todos os cortes avaliados (Tabela 2). Apesar da diferença quanto a densidade de arbóreas e conseqüentemente, na luminosidade disponível no sub-bosque, não houve incremento na proporção de colmo em função do adensamento do sistema. Entretanto, o conteúdo de material senescente foi superior em 62,3% na forrageira sob SSP em arranjo (3x2) + 20m comparado ao sistema com fila simples (9x2m). O menor acúmulo de material senescente nos arranjos com nove metros entre renques pode ser atribuído ao menor desenvolvimento ontogênico da forrageira. Conforme Paciullo e al., (2011) níveis elevados de sombreamento induzem idade fisiológica menos pronunciada em forrageiras do gênero *Urochloa*.

No segundo ciclo agrícola foi constatado maiores proporções de folha na matéria seca de *U. decumbens*, independente do arranjo. Mesmo efeito foi obtido para a relação folha: colmo, uma vez que os teor de MS proveniente do colmo foi semelhante entre o primeiro e segundo ano agrícola (Tabela 3). Alterações nas proporções dessas frações na matéria seca total da forrageira podem estar associadas a fatores climáticos. Entretanto, com exceção do ano agrícola 2013/2014, não foram observados períodos significativos sem ocorrência de chuvas no intervalo do pastejo anterior com os cortes avaliados. No ano em questão foram registrados 16 dias sem a ocorrência de chuvas, que de acordo com Santos et al. (2013) é suficiente para promover o estresse hídrico em *U. decumbens*.

Os resultados obtidos quanto à composição da MS da forrageira revela valores semelhantes entre os arranjos com nove metros entre renques. Resultados semelhantes foram descritos por Araújo et al., (2013) ao mensurarem a relação folha: colmo em *U. decumbens* em SSP com *Eucalyptus urophylla* sob arranjos de 3x2m, 6x4m e 10x4 m. Os autores avaliaram os sistemas entre 24 e 36 meses após a implantação e não constataram efeito do arranjo sobre essa variável.

A porcentagem de folhas na matéria seca não variou em função do sombreamento, na comparação do SSP com a pastagem sob adubação (Tabela 4). De acordo com Abraham et al., (2014), condições de sombreamento estimulam o aumento na taxa de alongamento das folhas, o que resulta em incremento na área foliar específica. Entretanto, conforme Gómez et al., (2013) embora o sombreamento tenha efeito positivo sobre a expansão foliar, há redução na acumulação de biomassa, o que pode repercutir em baixa produtividade. Desse modo, o incremento na expansão da área foliar não necessariamente está associado ao aumento na porcentagem de folhas na matéria seca total.

Em estudo conduzido por Guerra et al., (2016) avaliaram-se a proporção de folhas e colmos em *U. decumbens* em SSP com *Myracrodruon urundeuva* (3x3m) e em sol pleno. Constataram-se médias semelhantes nos dois sistemas avaliados para ambas frações e também, para o material senescente. Desse modo, os dados obtidos pelos autores corroboram com os obtidos nesse trabalho em relação à porcentagem de folha na MS total da forrageira. Com relação à menor porcentagem de folhas na pastagem não adubada em relação aos SSP com nove metros entre renques pode ser atribuído à ausência de reposição de nutrientes via adubação, em especial ao nitrogênio.

A porcentagem de colmo na matéria seca não variou dentro da intensidade de sombreamento obtida nos arranjos espaciais do SSP. Entretanto, quando comparado à forrageira sob sol pleno, o SSP apresentou maior proporção de MS associada a essa fração (Tabela 5). Os resultados obtidos corroboram com os descritos por Lopes et al., (2017) ao verificar maior porcentagem de colmo na MS de *U. decumbens* sob SSP em relação a mesma forrageira em monocultivo. Segundo Gómez et al., (2013) variação na luminosidade pode resultar em estiolamento do colmo e, conseqüentemente em maior altura do dossel. Apesar do maior porcentagem de colmo não se verificou diferença na altura da *U. decumbens*.

O maior teor de colmo na matéria seca para os arranjos no SSP resultou em maior relação folha: colmo. Esse comportamento foi verificado quando se contrastou os tratamentos no SSP com a pastagem adubada. Em relação àquela manejada sem adubação o menor teor de

folha [(2x2) + 9m e 9x2m] e de colmo (SSP) contribuiram para manutenção de valores semelhantes para a relação folha: colmo.

A porcentagem de material morto foi superior na ausência de sombreamento. Esse comportamento se justifica pelo estágio ontogênico menos pronunciado em plantas sob condições de sombreamento intenso. Esse mecanismo foi descrito por Paciullo et al., (2011), que relataram que, sobre tais condições, as forrageiras tendem a ser mais jovens fisiologicamente, desse modo reduz a senescência e o acúmulo de material morto.

O desempenho produtivo da *U. decumbens* variou em relação à densidade de arbóreas utilizado no sistema silvipastoril. A alteração do espaçamento entre renques de 20m para 9m promoveu redução de 65,2 e 52,7% na produtividade de matéria seca para os arranjos com fila dupla [(2x2) + 9m] e fila simples (9x2m), respectivamente (Figura 3a). Atribui-se que a redução na produção foi ocasionada pelo aumento da densidade de arbóreas, o que provocou aumento no sombreamento no sub-bosque. A produtividade de forragem em SSP é associada a radiação fotossinteticamente ativa (RFA) transmitida por meio da copa das arbóreas. Nesses sistemas as árvores interferem na quantidade e na qualidade da luminosidade disponível no sub-bosque e conseqüentemente no desempenho produtivo da forrageira (Paciullo et al., 2011; Oliveira et al., 2016).

Lopes et al., (2017) avaliaram a produção de *U. decumbens* em SSP, verificando médias de 2015 e 956 kg de MS ha⁻¹ para intensidades de sombreamento de 20 e 70%. Os autores analisaram a forrageira sob a arbórea (70% de sombreamento) e à distância de 8 a 12m do renque com quatro filas (3x3m) de *Eucalyptus grandis* e *Acacia mangium* (20% de sombreamento). Esse comportamento decorre da redução no perfilhamento (Paciullo et al., 2011). Coelho et al., (2014) em estudo conduzido na mesma área experimental do presente estudo, 33 meses após o estabelecimento, verificaram produtividade média de 440 kg de MS ha⁻¹ para os arranjos espaciais de (2x2) + 9m e de 9x2m. Apesar do maior sombreamento resultante do crescimento das árvores, os valores obtidos no presente estudo [368 e 501 kg de MS ha⁻¹ nos arranjos (2x2) + 9m e de 9x2m, respectivamente] foram semelhantes aos descritos pelos autores.

A forrageira em SSP não apresentou aumento na altura em resposta ao adensamento das arbóreas e conseqüente redução na luminosidade no sub-bosque (Figura 4b). Esse comportamento diverge do descrito por Bosi et al., (2014) que relataram aumento na altura em *U. decumbens* em sombreamento acima de 53%. Por outro lado, resultados semelhantes aos obtidos nesse estudo foram descritos por Reis et al., (2012) em *U. brizantha* em condições

de sombreamento artificial. Os autores mensuraram a altura do dossel forrageiro sob intensidades de 47, 53 e 66% de retenção da RFA e não constataram diferença entre esses tratamentos. Embora não tenha sido efetuada a mensuração da intensidade de sombreamento no SSP, estudo conduzido por Coelho et al., (2014) na mesma área apontaram índices de 50% nos arranjos com nove metros entre renques [(2x2) + 9m e 9x2m] aos 33 meses de implantação.

A ausência de efeito de cultivar de eucalipto sugere pequena variação entre estes em relação à arquitetura de árvore e interceptação de luminosidade. Efeito do fenótipo das arbóreas e do arranjo espacial foram descritos por Oliveira et al., (2016). Os autores analisaram a utilização de cinco cultivares de eucalipto como estratégia de recuperação de pastagem de *U. brizantha* cv Marandú degradada. O desempenho da forrageira foi mensurada aos 50 meses após a implantação e constataram-se diferença na produtividade para os SSP com os cultivares VM58 e GG100.

No ano agrícola 2014/2015 foi observado menor produtividade em todos os arranjos (Figura 3c). Na comparação com o segundo ciclo avaliado a produtividade média de massa verde e matéria seca (Kg ha^{-1}) foram inferiores em 36,6 e 43,6% respectivamente. O desempenho inferior no primeiro período pode estar associado às condições climáticas do período. Os índices pluviométricos para os períodos de outubro a maio dos anos agrícolas 2014/2015 e 2015/2016 contabilizaram 1.166 e 1.008mm, respectivamente. Conforme Santos et al. (2013) períodos de 14 dias sobre restrição de água já são capazes de promover efeitos significativos sobre espécies do gênero *Urochloa*. Ao longo do ciclo de pastejo de 2014/2015 verificou-se a ocorrência de um intervalo de 20 dias sem chuvas em janeiro de 2015. Já no ciclo 2015/2016 foram identificados três intervalos sem precipitações pluviométricas, de 20 dias em novembro de 2015, 26 dias em fevereiro de 2016 e de 20 dias em março de 2016. Desse modo, considerando apenas os índices pluviométricos, maior produtividade seria esperada para o ano agrícola 2014/2015.

Ao longo dos ciclos agrícolas de 2014/2015 e 2015/2016 foi observado aumento gradual na produtividade de matéria seca (Figura 3d). Essa mesma tendência foi observada para na produção de massa verde, porém com redução entre o terceiro e o último corte dos respectivos ciclos. Os resultados diferem dos descritos por Paciullo et al., (2008) ao avaliar a produtividade de *U. decumbens* em SSP com *Eucalyptus grandis* e em pleno sol. Os autores analisaram o desempenho da forrageira nas quatro estações e não verificaram diferença entre a primavera, verão e outono, período equivalente as avaliações efetuadas nesse estudo. Foi

observado que em ambos períodos houve aumento significativo no teor de matéria seca entre os dois últimos cortes da forrageira, de 55,7% em 2014/2015 (20,66 e 32,15%) e de 101,1% em 2015/2016 (22,17 e 44,59%).

A altura da *U. decumbens* revelou comportamento diferente do obtido para a produtividade. A média para essa resposta foi inferior no último corte para ambos anos agrícolas (Tabela 6). Desse modo, o incremento na MS parece estar relacionado ao aumento nas frações menos digestíveis, a exemplo de material senescente. Embora nesse estudo tenha se efetuado a separação da forrageira nas frações lâmina foliar, colmo, material senescente, o procedimento foi realizado apenas no segundo corte do respectivo ano agrícola.

A produtividade da forrageira no sistema em monocultivo apresentou incremento gradual ao longo dos quatro cortes realizados no ano agrícola 2014/2015 (Tabela 7). Esse comportamento se atribui às variações climáticas ao longo do ciclo de pastejo. Embora a distribuição de chuvas tenha ocorrido de forma mais irregular para o período de avaliação de 2015/2016 não se constatou variações significativas na produtividade. Vale ressaltar, que a produtividade da forrageira está associada a outros fatores climáticos além da pluviosidade, onde se inclui temperatura e período e intensidade de radiação (Gautier et al., 1999; Watanabe et al., 2014).

A fertilização não foi efetiva para promover aumento na produção da *U. decumbens* em pleno sol. Desse modo, a produtividade média da *U. decumbens* em monocultura foi de 9.362,9 kg de MS ha⁻¹ ano⁻¹. Resultados divergentes foram descritos por Lopes et al., (2017) em *U. decumbens* manejada sem e com adubação (80 kg ha⁻¹ de N e K₂O e 60 kg.ha⁻¹ de P₂O₅). Os autores relataram produtividade superior no manejo adubado (11.850 kg de MS ha⁻¹ ano⁻¹) em relação ao não adubado (9.285 kg de MS ha⁻¹ ano⁻¹).

O sombreamento proporcionado no sub-bosque pelo eucalipto promoveu queda no desempenho produtivo da forrageira (Tabela 8). Comparada à pastagem adubada, a produtividade média nos quatro cortes foi inferior em 1.521, 8 (58,6%), 2194,1 (85,6%) e 2.061,2 kg de MS ha⁻¹ (80,4%) nos arranjos (3x2) + 20m, (2x2) + 9m e de 9x2m). Comportamento similar foi descrito por Soares et al., (2009) para o desempenho de *U. decumbens* sob SSP com *Pinus taeda* em arranjos de 15x3m e 9x3m. A produtividade no décimo ano do sistema foi inferior em 62,6% (15x3m) e em 73,1% (9x3m) em relação ao cultivo em sol pleno. A RFA reduzida no sub-bosque do SSP resulta no retardo no desenvolvimento ontogênico e no menor perfilhamento da *U. decumbens* (Paciullo et al., 2011). Esse fator justificaria o baixo desempenho da forrageira nesse tipo de consórcio.

Redução na produção de matéria seca também foi relatado por Oliveira et al., (2014) em *U. decumbens* em SSP com *E. urograndis* em arranjos de 14x2 (357 árvores ha⁻¹) e 22x2m (227 árvores ha⁻¹ no quarto ano após o estabelecimento). Os autores verificaram redução de 34 e 53% na produtividade para os SSP com 14x2m e 22x2m, respectivamente. As reduções mais significativas obtidas neste trabalho decorrem dos sistemas mais adensados e maior estrutura das arbóreas.

2.6 Conclusão

A *Urochloa decumbens* em silvipastoril com *Eucalyptus* spp. apresenta redução na produtividade de forragem. Em sistema integrado o desempenho da forrageira foi superior em arranjo (3x2) + 20m em relação ao (2x2) + 9m e 9x2m. Para os arranjos com nove metros entre renques a utilização de fila simples ou dupla não promovem impacto significativo na produtividade.

Os cultivares de *Eucalyptus* spp. GG100, I144 e VM58 revelaram efeito semelhante sobre os parâmetros produtivos da *U. decumbens*. A porcentagem de folha e colmo na matéria seca demonstraram pouca variabilidade com a utilização desses cultivares na integração.

Agradecimentos

Este trabalho contou com financiamentos da FAPEMIG e do CAPES. Os autores agradecem aos funcionários e professores da UFMG e do Campo Experimental de Santa Rita, pelo apoio.

2.7 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. *Agrof. Syst.*, v.88, n.2, p.287-299, 2014.
- ARAÚJO, R.P.; ALMEIDA, J.C.C.; ARAÚJO, S.A.C. et al. Produção e composição química de *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk em sistema silvipastoril sob diferentes espaçamentos com *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake. *Rev. Bras. Agropecu. Sustent.*, v.3, n.1, p.90-98, 2013.
- BOSI, C.; PEZZOPANE, J.R.M.; SENTELHAS, P.C. et al. Produtividade e características biométricas do capim-braquiária em sistema silvipastoril. *Pesq Agropec Bras*, v.49, n.6, p.449-456, 2014.
- COELHO, J.S.; ARAÚJO, S.A.C.; VIANA, M.C.M. et al. Morfofisiologia e valor nutritivo do capim-braquiária em sistema silvipastoril com diferentes arranjos espaciais. *Semina: Ciências Agrárias*, v.35, n.3, p.1487-1500, 2014.

COSTA, S.B.D.M.; DE MELLO, 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.

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

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 3.ed. Brasília, 2013. 353p.

GAUTIER, H.; VARLET-GRANCHER, C.; HAZARD, L. Tillering Responses to the Light Environment and to Defoliation in Populations of Perennial Ryegrass (*Lolium perenne* L.) Selected for Contrasting Leaf Length. *Annals of Botany*, v.83, n.4, p.423-429, 1999.

GÓMEZ, S.; GUENNI, O.; BRAVO DE GUENNI, L. Growth, leaf photosynthesis and canopy light use efficiency under differing irradiance and soil N supplies in the forage grass *Brachiaria decumbens* Stapf. *Grass Forage Sci.*, v.68, n.3, p.395-407, 2013.

GUERRA, C.R.S.B.; DE MORAES, M.L.T.; RECCO, C.R.S.B. et al. Forage yield and nutritive value of naturally growing *Brachiaria decumbens* as undergrowth to an aroeira tree stand in a silvopasture system. *Afr. J. Agric. Res.*, v.11, n.40, p.3922-3928, 2016.

LINDGREN, P.M.; SULLIVAN, T.P. Response of forage yield and quality to thinning and fertilization of young forests: implications for silvopasture management. *Can J For Res.*, v.44, n.4, p.281-289, 2013.

LOPES, C.M.; PACIULLO, D.S.C.; ARAÚJO, S.A.C. et al. 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.

NAIR, P.K.R.; KUMAR, B.M.; NAIR, V.D. Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, v.172, n.1, p.10-23, 2009.

OLIVEIRA C.H.R., REIS G.G., REIS M.G.F. et al. Dynamics of eucalypt cultivares canopy and *Brachiaria brizantha* production in silvopastoral systems with different spatial arrangements. *Agrofor Syst.*, v.90, n. 6, p.1077-1088, 2016.

OLIVEIRA, C.C.; VILLELA, S.D.J.; ALMEIDA, R.G. et al. Performance of Nellore heifers, forage mass, and structural and nutritional characteristics of *Brachiaria brizantha* grass in integrated production systems. *Trop. Anim. Health. Prod.*, v.46, n.1, p.167-172, 2014.

PACIULLO, D.S.C.; CAMPOS, N.R.; GOMIDE, C.A.M. et al. Crescimento de capim-braquiária influenciado pelo grau de sombreamento e pela estação do ano. *Pesq Agropec Bras*, v.43, n.7, p.917-923, 2008.

PACIULLO, D.S.C.; GOMIDE, C.A.M.; CASTRO C.R.T. et al. Características produtivas e nutricionais do pasto em sistema agrossilvipastoril, conforme a distância das árvores. *Pesq Agropec Bras*, v.46, n.10, p.1176-1183, 2011.

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

REIS, G.L.; QUINTÃO LANA, A.M.; EMERENCIANO NETO, J.V. et al. Production and chemical composition of marandú palisadegrass under different percentages of shading and nitrogen doses. *Bioscience Journal*, v.29, 1606-1615, 2013.

RIBEIRO, A.C.; GUIMARAES, P.T.G.; ALVAREZ, V.H. *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª Aproximação*. Viçosa, MG, 1999. 359p.

SANTOS; P.M. CRUZ; P.G., ARAÚJO; L.C. et al. Response mechanisms of *Brachiaria brizantha* cultivars to water deficit stress. *R. Bras. Zootec.*, v.42, n.11, p.767-773, 2013.

SOARES, A.B.; SARTOR, L.R.; ADAMI, P.F., et al. Influência da luminosidade no comportamento de onze espécies forrageiras perenes de verão. *Rev Bras Zootec.*, v.38, n.3, p.443-451, 2009.

TONUCCI, R.G.; NAIR, P.K.R.; NAIR, V.D. et al. Soil carbon storage in silvopasture and related land-use systems in the Brazilian Cerrado. *J Environ Qual.*, v.40, n.3, p.833-841, 2011.

USDA – United States Department of Agriculture. Brazil - Livestock and Products Semi-annual: Semi Annual Livestock Report 2017. Disponível em: <https://gain.fas.usda.gov>, acesso em: 20 out. 2017.

WATANABE, N.; SAKANOUÉ, S.; LEE, H.J. et al. Use of a hand-held crop growth measuring device to estimate forage crude protein mass of pasture. *Grassland Science*, v.60, n.4, p.214-224, 2014.

ZOMER, R.J.; TRABUCCO, A.; DA BOSSIO, D.A.; VERCHOT, L.V. Climate change mitigation: a spatial analysis of global land suitability for clean development mechanism afforestation and reforestation. *Agric Ecosyst Environ.*, v.126, n.1–2, p. 67- 80, 2008.

CAPÍTULO 3 - INFLUÊNCIA DE ARRANJOS E CULTIVARES DE EUCALIPTO NA QUALIDADE DO CAPIM *Urochloa decumbens* EM SISTEMA SILVIPASTORIL EM REGIÃO DO CERRADO

3.1 Resumo

Objetivou-se avaliar a composição bromatológica de *Urochloa decumbens* no sistema silvipastoril com diferentes arranjos e cultivares de *Eucalyptus* sp.. O ensaio foi conduzido no Campo Experimental Santa Rita/Epamig, município de Prudente de Moraes, Minas Gerais. Os tratamentos foram compostos por um Sistema silvipastoril (SSP) implantado em 2008, nos arranjos de (3x2) + 20m, (2x2) + 9m e 9x2m. Foram utilizados os cultivares de eucalipto GG100 e I144 (*E. grandis* x *E. urophylla*) e VM 58 (*E. grandis* x *E. camaldulensis*). Avaliou-se a composição bromatológica da forrageira nos anos agrícolas de 2013/2014, 2014/2015 e 2015/2016. Para análise dos dados no SSP foi utilizado o delineamento em blocos ao acaso em arranjo em parcelas sub-subdivididas, comparação de médias entre os sistemas silvipastoris pelo teste SNK e a comparação das médias entre SSP e a pastagem em monocultivo por meio de contrastes ortogonais. A proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), hemicelulose e celulose apresentaram efeito do arranjo para planta inteira. O cultivar não demonstrou efeito sobre a composição bromatológica da forrageira. A pastagem em monocultivo, independente da realização da adubação, apresentou menores médias para PB. A integração entre *U. decumbens* e *Eucalyptus* sp. no sistema silvipastoril resulta em incrementos no teor de proteína bruta.

Palavras chave: forragem; sistemas agroflorestais; sombreamento; valor nutricional.

3.2 Introdução

As pastagens no Brasil ocupam aproximadamente 180 milhões de hectares (IBGE, 2016). Esse ecossistema é responsável pela alimentação de 93% do rebanho bovino nacional (Galdino et al., 2016), estimado em 226 milhões de cabeças. De acordo com Dias-Filho (2014), 70% das pastagens brasileiras encontram-se em algum grau de degradação, a maioria dessas, cultivada com espécies do gênero *Brachiaria* (syn. *Urochloa*).

A recuperação das áreas degradadas é fundamental para a sustentabilidade da pecuária bovina no país. A melhoria dos índices produtivos das pastagens, obtida por meio desse processo, reduz a necessidade de incorporação de novas áreas às atividades agrícolas. No

entanto, a manutenção da produtividade constitui o grande desafio para sustentabilidade nas regiões tropicais.

O sistema silvipastoril tem sido indicado como alternativa para recuperação de pastagens degradadas (Bono et al., 2013). A associação entre espécies arbóreas e gramíneas melhora a qualidade do solo, reduz a erosão e os impactos negativos no ambiente (Xavier et al. 2014; Pezarico et al., 2013). O eucalipto (*Eucalyptus* spp.) constitui um dos componentes arbóreos mais comuns nesses sistemas nos trópicos. A espécie é amplamente consorciada com gramíneas dos gêneros *Urochloa* spp. (Tonucci et al. 2011).

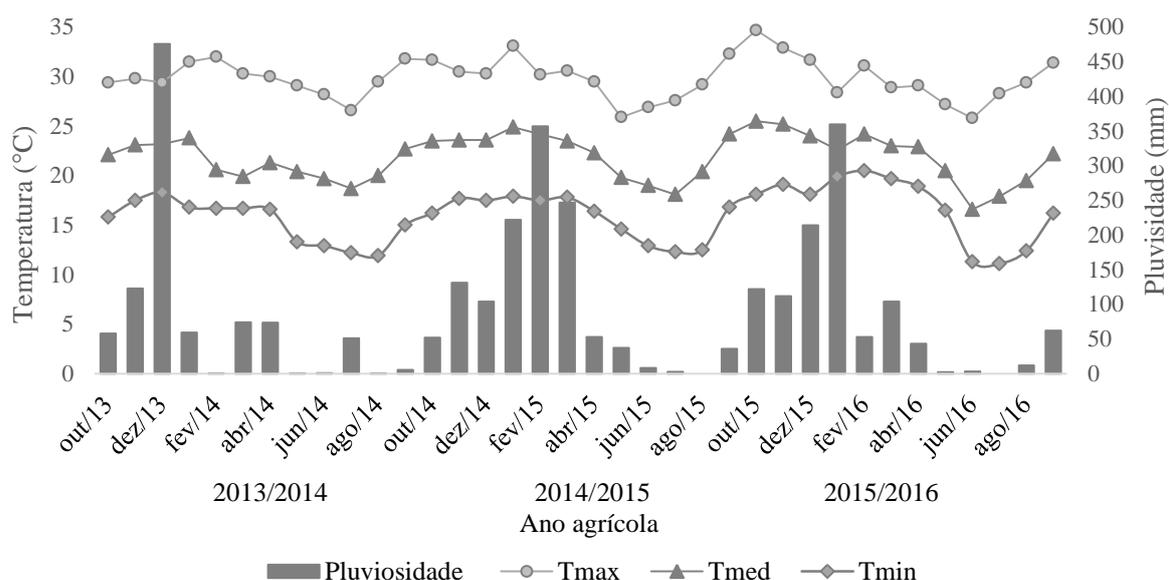
O Eucalipto apresenta rápido crescimento principalmente nos primeiros dois anos pós plantio (Cubbage et al. 2012). Assim, a arquitetura da arbórea em expansão interfere na luminosidade disponível no sub-bosque (Costa et al. 2016). Conforme Paciullo et al. (2008), o sombreamento tem efeito sobre aspectos morfofisiológicos determinantes da produtividade da gramínea. Além disso, árvores e forragem competem pelos mesmos recursos, o que constitui um dos principais desafios para o sucesso nos sistemas silvipastoris (Lindgren e Sullivan, 2014). Assim, além da escolha dos componentes, a definição da distribuição espacial desses na área constitui etapa crucial para viabilidade do sistema.

Na literatura há diversos relatos sobre os efeitos do sombreamento natural no desempenho produtivo de pastagens de *Urochloa* spp. (Costa et al. 2016; Guerra et al. 2016). No entanto, com relação aos teores nutricionais os resultados ainda não são conclusivos, principalmente no que se refere à proteína e a fração fibrosa. Nesse contexto, o objetivo foi avaliar a composição química de *U. decumbens* em sistema de produção silvipastoril com diferentes arranjos e cultivares de eucalipto em três anos agrícolas sucessivos.

3.3 Material e métodos

3.3.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido no Campo Experimental Santa Rita pertencente à Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (Epamig). A unidade localiza-se no município de Prudente de Moraes, Estado de Minas Gerais, Brasil, nas coordenadas de latitude 19°27'15'' Sul e Longitude 44°09'11'' Oeste e altitude de 732m. O clima é do tipo AW conforme classificação de Köppen, com estação seca, de maio a outubro e chuvosa, de novembro a abril. Os dados de precipitação e temperatura média, mínima e máxima estão descritos na Figura 1.



Fonte: CNPMS/Embrapa; INMET

Figura 1 – Precipitação pluviométrica, temperatura máxima (Tmax), média (Tmed), mínima (Tmin) mensais durante o período experimental

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, textura argilosa. Na ocasião da implantação do sistema foram realizadas análises químicas nas profundidades de 0 a 20 e 20 a 40 cm (Quadro 1).

Quadro 1 - Características químicas do solo da área experimental nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm

Profundidade cm	pH ¹	cmol _c dm ⁻³				Mg dm ³		MO ⁵ dag kg ⁻¹
		H+Al ²	Al ³	Ca ³	Mg	K ⁴	P ⁴	
0-20	5,4	7,5	0,2	3,2	0,7	70,3	3,7	4,3
20-40	5,3	7,6	0,6	2,5	0,5	56,7	3,7	4,3

¹ pH- H₂O relação 1:2,5; ² Extrator Ca (OAc)₂ 0,5 mol pH 7,0; ³ Extrator KCl 1 mol/L; ⁴ Extrator Mehlich-1; ⁵ Método Walkley e Black.

3.3.2 Histórico da área experimental

A área de 10 ha foi implantada em 2008 como estratégia de recuperação de uma pastagem de *Urochloa decumbens* degradada, utilizando o sistema de integração lavoura-pecuária-floresta. No ano da implantação foi realizado o controle de formigas, a dessecação de toda a cobertura vegetal e a aplicação de duas toneladas hectare⁻¹ de calcário dolomítico

para correção da acidez. Realizou-se o preparo convencional do solo e a subsolagem nas linhas de plantio do eucalipto, com aplicação de 400 kg ha⁻¹ de fosfato natural reativo.

Nos três primeiros ciclos agrícolas, nas faixas entre os renques de *Eucalyptus* spp. foi cultivado milho (*Zea mays*) consorciado com *Urochloa decumbens* cv. Basilisk (syn. *Brachiaria decumbens*). A implantação do consórcio foi efetuada com distância de 1,5 m da linha de eucalipto.

A adubação de manutenção das pastagens no SSP constou do equivalente a 100 kg de N e 100 kg de K₂O ha⁻¹ ano⁻¹ em 2014/2015 e de 100 kg de N, 40 kg de K₂O e 50 kg de P₂O₅ ha⁻¹ ano⁻¹ em 2015/2016. As aplicações dos fertilizantes foram realizadas nos meses de dezembro. A dose de N foi dividida em duas aplicações, sendo a segunda realizada nos meses de março de 2015 e de 2016.

3.3.3 Descrição dos tratamentos

Atualmente, o sistema caracteriza-se como silvipastoril (SSP) composto pelo eucalipto disposto em dois arranjos de linha dupla de (3x2) + 20m (434 árvores ha⁻¹) e (2x2) + 9m (909 árvores ha⁻¹), e em um em linha simples de 9x2m (556 árvores ha⁻¹). A linha com as arbóreas foi estabelecida no sentido Leste-Oeste. Dentro dos arranjos foram implantadas faixas com os cultivares GG100, I144 (*E. grandis* x *E. urophylla*) e VM 58 (*E. grandis* x *E. camaldulensis*).

Em área adjacente ao SSP, foram estabelecidas duas pastagens. Uma dessas recebeu manejo similar ao utilizado na forragem em sistema de integração. A segunda corresponde à pastagem degradada, a qual não foi submetida à correção de acidez do solo e de fertilidade.

3.3.4 Coleta de amostras da forrageira

A coleta da forrageira foi realizada nos anos agrícolas de 2013/2014 (ciclo 1), 2014/2015 (ciclo 2) e 2015/2016 (ciclo 3), totalizando quatro cortes em cada período. Os cortes foram efetuados em 25/11/2013, 13/01/2014, 24/02/2014, 08/04/2014 (ciclo 1); 18/12/2014, 23/01/2015, 13/04/2015, 10/06/2015 (ciclo 2); 01/12/2015, 25/01/2016, 21/03/2016 e 24/05/2016 (ciclo 3). Nos SSP coletaram-se as amostras em três faixas aleatórias que se estendiam de 1 m da linha do eucalipto ao centro da parcela. Nos tratamentos controle a amostragem foi realizada com o auxílio de quadros metálicos com área de 1m² (1 x 1 m), lançados aleatoriamente em quatro pontos. Procederam-se os cortes em todos os tratamentos nas mesmas datas, sendo realizado quando a pastagem atingia altura de aproximadamente 40 cm.

Nos locais amostrados, a pastagem foi colhida a 15 cm do solo, pesada e seca em estufa de circulação forçada de ar a 55 °C, até a obtenção de peso constante. Na ocasião da coleta foram separadas duas subamostras, uma foi fracionada em lâmina foliar e colmo (haste + bainha), a segunda não submetida ao fracionamento sendo denominada planta inteira. Posteriormente, as amostras foram moídas em moinho Willey (1 mm) e encaminhadas ao Laboratório de Nutrição Animal da Escola de Veterinária, da Universidade Federal de Minas Gerais, para realização das análises bromatológicas.

3.3.5 Análises bromatológicas

Para realização das análises bromatológicas adotou-se metodologia proposta por Silva e Queiroz (2002). Quantificaram-se os teores de matéria seca (MS), matéria orgânica (MO), matéria mineral (MM), proteína bruta (PB) e extrato etéreo (EE). Para determinação dos teores de fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) e lignina (LIG) utilizaram-se técnicas descritas por Van Soest (1991). A lignina foi determinada pelo método sequencial. A hemicelulose (HCEL) foi calculada pela diferença entre o FDN e FDA. O conteúdo de celulose (CEL) foi estimado pela diferença entre o FDA e a LIG.

3.3.6 Análises estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos aos testes de Lilliefors e Bartlett para verificação de distribuição da normalidade e homocedasticidade, respectivamente. Para comparação das respostas dentro do sistema silvipastoril utilizou-se o delineamento em blocos ao acaso em arranjo em parcela sub-subdivididas, conforme modelo estatístico:

$$Y_{ijkm} = \mu + B_m + A_i + l_{im} + S_j + (AS)_{ij} + \alpha_{ijk} + C_k + (AC)_{ik} + (SC)_{jk} + (ASC)_{ijk} + \gamma_{ijkm}, \text{ em que:}$$

Y_{ijkm} = observação do arranjo i, no cultivar j, do ano agrícola k, no bloco m,

μ = efeito médio geral,

B_m = efeito do bloco m, sendo m = 1, 2 e 3;

A_i = efeito do arranjo i, sendo i = 3x2 + 20 m, 2x2 + 9 m e 9x2 m;

l_{im} = efeito do erro aleatório atribuído à parcela do arranjo i no bloco m;

S_j = efeito do cultivar j, sendo j = GG100, I144 e VM58;

$(AS)_{ij}$ = efeito da interação arranjo e cultivar;

α_{ijm} = erro aleatório atribuído à sub-parcela do arranjo i, do cultivar j do bloco m;

C_k = efeito do ano agrícola k, sendo k = 2013/2014, 2014/2015 e 2015/2016;

$(AC)_{ik}$ = efeito da interação arranjo e ano agrícola;

(SC)_{jk} = efeito da interação cultivar e ano agrícola;

(ASE)_{ijk} = efeito da interação entre arranjo, cultivar e ano agrícola;

γ_{ijkm} = erro aleatório atribuído à sub-subparcela do arranjo i, no cultivar j, ano agrícola K do bloco m.

Para avaliação do efeito da época de corte da forrageira utilizou-se o modelo estatístico:

$Y_{ijkm} = \mu + B_m + A_i + l_{im} + C_j + (AC)_{ij} + \alpha_{ijk} + H_k + (AH)_{ik} + (CH)_{jk} + (ACH)_{ijk} + \gamma_{ijkm}$, onde:

Y_{ijkm} = Observação do arranjo i no ano agrícola j do corte k no bloco m,

μ = média geral,

B_m = efeito do bloco m, onde m = 1, 2 e 3;

A_i = Efeito do arranjo i, onde i = (3x2) + 20m, (2x2) + 9m e 9x2m;

l_{im} = efeito do erro aleatório atribuído à parcela do arranjo i no bloco m;

C_j = efeito do ano agrícola k, sendo k = 2013/2014, 2014/2015 e 2015/2016;

(AC)_{ij} = efeito da interação arranjo e ano agrícola;

α_{ijm} = erro aleatório atribuído à sub-parcela do arranjo i, do ano agrícola j do bloco m;

H_k = Efeito do corte k, onde k = 1, 2, 3 e 4;

(AH)_{ik} = efeito da interação arranjo e corte;

(CH)_{jk} = efeito da interação ano agrícola e corte;

(ACH)_{ijk} = efeito da interação arranjo, ano agrícola e corte;

γ_{ijkm} = erro aleatório atribuído à sub-subparcela do arranjo i, no ano agrícola j, corte K do bloco m.

Para comparação entre as médias dos tratamentos no sistema silvipastoril foi utilizado o teste Student-Newman-Keuls (SNK) a 5% de probabilidade de erro para rejeição da hipótese de nulidade.

Foram realizadas análises por contrastes para os resultados da composição química da planta inteira entre os arranjos versus a pastagem adubada e sem adubação (Quadro 2). Esse procedimento foi realizado visto que não houve efeito de cultivar e da interação entre arranjo e cultivar. A análise foi realizada também em relação à lâmina foliar, porém em decorrência da ausência de efeito para arranjo, considerou-se apenas a média do SSP. Para comparação utilizou-se o teste de Fisher ($p < 0,05$)

Quadro 2 - Contrastes ortogonais para comparação entre os arranjos e cultivares e as pastagens em monocultivo adubada e sem adubação

Arranjo	Cultivar	Contrastes							
		Planta inteira					Lâmina foliar		
(3x2) + 20m	GG100	-1	-	-	-1	-	-	-1	-1
	I144	-1	-	-	-1	-	-	-1	-1
	VM58	-1	-	-	-1	-	-	-1	-1
(2x2) + 9m	GG100	-	-1	-	-	-1	-	-1	-1
	I144	-	-1	-	-	-1	-	-1	-1
	VM58	-	-1	-	-	-1	-	-1	-1
9x2 m	GG100	-	-	-1	-	-	-1	-1	-1
	I144	-	-	-1	-	-	-1	-1	-1
	VM58	-	-	-1	-	-	-1	-1	-1
Pastagem	Adubada	3	3	3	-	-	-	9	-
	s/adubação	-	-	-	3	3	3	-	9

3.4 Resultados

Os teores de matéria seca (MS), matéria orgânica (MO), matéria mineral (MM), extrato etéreo (EE) e lignina da planta inteira não variaram entre os arranjos ($p>0,05$) (Tabela 1). O percentual de proteína bruta (PB) na *U. decumbens* foi menor no arranjo de (3x2) + 20m em relação aos demais. Os teores de FDN, FDA, hemicelulose e celulose não diferiram entre os arranjos com espaçamento de 9 m entre os renques, no entanto ambos apresentaram médias inferiores ao com espaçamento de 20 m entre renques.

A composição química da lâmina foliar não apresentou efeito do arranjo para nenhuma das variáveis ($p>0,05$). Para o colmo houve diferença, apenas para os teores médios de EE.

Tabela 1 – Composição bromatológica com base na matéria seca para planta inteira, lâmina foliar e colmo de *Urochloa decumbens* em sistema silvipastoril nos arranjos de eucalipto

	Variável (%)	Arranjo ¹			Erro padrão da média
		(3x2)+20m	(2x2)+9m	9x2m	
Planta	Matéria seca	25,97	24,59	24,22	0,39
	Matéria mineral	7,90	8,40	8,54	0,13
	Matéria orgânica	92,09	91,60	91,45	0,13
	Extrato etéreo	1,53	1,74	1,65	0,06
	Proteína bruta	10,54 b	11,89 a	11,88 a	0,04
	FDN	69,81 a	68,32 b	68,39 b	0,26
	FDA	36,94 a	35,93 b	36,04 b	0,27
	Hemicelulose	32,84 a	32,38 b	32,37 b	0,09
	Celulose	31,14 a	29,97 b	30,17 b	0,20
	Lignina	4,45	4,15	4,36	0,06
	Lâmina foliar	Matéria seca	22,21	21,08	21,18
Matéria mineral		8,38	8,94	8,80	0,14
Matéria orgânica		91,62	91,06	91,20	0,14
Extrato etéreo		2,31	2,43	2,40	0,04
Proteína bruta		15,12	16,22	16,06	0,24
FDN		63,95	63,27	62,78	0,28
FDA		27,84	27,66	27,84	0,12
Hemicelulose		36,11	35,60	34,94	0,17
Celulose		23,67	23,51	23,47	0,16
Lignina	2,82	2,84	3,16	0,18	
Colmo	Matéria seca	20,94	20,41	20,75	0,27
	Extrato etéreo	1,25 a	1,11 b	1,09 c	0,03
	Hemicelulose	33,50	33,33	33,64	0,23
	Lignina	6,31	6,08	6,09	0,21

¹Médias seguidas por letras distintas, na linha, diferem pelo teste SNK ($p < 0,05$), $n = 27$

Os cultivares avaliados no sistema silvipastoril não apresentaram efeito sobre a composição química da *U. decumbens* para planta inteira, folha e colmo ($p > 0,05$). Também não se constatou interação entre o tipo de arranjo e cultivar utilizado ($p > 0,05$) (Tabela 2)

Tabela 2 – Composição bromatológica com base na matéria seca para planta inteira, lâmina foliar e colmo de *Urochloa decumbens* em sistema silvipastoril com diferentes cultivares de eucalipto

Variável (%)	Cultivar			Erro padrão da média
	GG100	I144	VM58	
Planta inteira				
Matéria seca	25,02	24,94	24,82	0,21
Matéria mineral	8,15	8,31	8,39	0,07
Matéria orgânica	91,85	91,7	91,61	0,07
Extrato etéreo	1,64	1,62	1,66	0,06
Proteína bruta	11,53	11,19	11,59	0,18
FDN	68,91	69,2	68,4	0,34
FDA	36,32	36,82	35,77	0,31
Hemicelulose	32,55	32,32	32,72	0,19
Celulose	30,16	30,92	30,21	0,24
Lignina	4,35	4,35	4,25	0,10
Lâmina foliar				
Matéria seca	21,37	21,60	21,48	0,30
Matéria mineral	8,55	8,74	8,83	0,09
Matéria orgânica	91,45	91,26	91,17	0,09
Extrato etéreo	2,41	2,47	2,26	0,14
Proteína bruta	15,87	15,76	15,77	0,26
FDN	63,51	63,08	63,40	0,28
FDA	27,72	27,80	27,81	0,13
Hemicelulose	35,78	35,28	35,59	0,31
Celulose	23,51	23,55	23,59	0,20
Lignina	2,95	2,81	3,08	0,18
Colmo				
Matéria seca	20,95	20,41	20,75	0,45
Matéria mineral	7,96	8,14	8,45	0,16
Matéria orgânica	92,04	91,86	91,55	0,16
Extrato etéreo	1,28	1,09	1,07	0,07
Proteína bruta	7,96	7,99	7,84	0,22
FDN	78,34	78,05	77,79	0,26
FDA	44,78	44,70	44,30	0,26
Hemicelulose	33,56	33,40	33,50	0,22
Celulose	37,12	37,26	36,89	0,24
Lignina	6,26	6,06	6,15	0,21

O ciclo de produção apresentou efeito sobre todos os componentes avaliados na planta inteira ($p < 0,05$), com exceção da hemicelulose (Tabela 3). O teor de MS foi inferior no segundo ano agrícola. A proteína bruta em contrapartida foi superior neste período em relação aos demais.

Tabela 3 – Composição bromatológica com base na matéria seca para planta inteira, lâmina foliar e colmo de *Urochloa decumbens* em sistema silvipastoril com *Eucalyptus* sp. nos ciclos de pastejo

Variável (%)	Ciclo ¹			Erro padrão da média	
	2013/2014	2014/2015	2015/2016		
Planta	Matéria seca	27,57 a	21,43 c	25,79 b	0,27
	Matéria mineral	7,93 b	8,92 a	8,00 b	0,08
	Matéria orgânica	92,07 a	91,08 b	92,00 a	0,08
	Extrato etéreo	1,51 b	1,66 ab	1,75 a	0,16
	Proteína bruta	10,91 b	12,57 a	10,84 b	0,16
	FDN	68,88 b	67,15 c	70,48 a	0,28
	FDA	36,20 b	34,86 c	37,85 a	0,23
	Hemicelulose	32,69	32,27	32,63	0,15
	Celulose	31,10 a	29,05 b	31,15 a	0,18
	Lignina	3,52 c	4,19 b	5,25 a	0,08
Lâmina foliar	Matéria seca	25,14 a	20,22 b	18,90 c	0,30
	Matéria mineral	8,24	9,12	8,80	0,08
	Matéria orgânica	91,76	90,88	91,20	0,08
	Extrato etéreo	2,07 b	2,24 b	2,82 a	0,10
	Proteína bruta	15,59	16,27	15,58	0,27
	FDN	64,51 a	60,77 b	64,58 a	0,32
	FDA	26,46 b	27,37 b	29,48 a	0,17
	Hemicelulose	38,04 a	33,33 b	35,10 ab	0,25
	Celulose	23,14 ab	22,86 b	24,60 a	0,24
Lignina	2,22 c	3,11 b	3,52 a	0,14	
Colmo	Matéria seca	25,0 a	17,27 c	19,57 b	0,43
	Matéria mineral	7,72 b	9,09 a	7,81 b	0,13
	Matéria orgânica	92,28 a	90,91 b	92,19 a	0,13
	Extrato etéreo	0,91 b	1,37 a	1,19 ab	0,11
	Hemicelulose	34,33 a	33,03 b	33,07 b	0,19
	Lignina	5,22 c	5,92 b	7,32 a	0,23

¹Médias seguidas por letras distintas na linha diferem pelo teste SNK ($p < 0,05$), $n = 27$.

Os teores de MM, MO e PB na lâmina foliar não apresentaram variações entre os três períodos avaliados ($p > 0,05$). Os teores de EE, FDA e lignina foram superiores no terceiro ano agrícola. A FDN e a celulose foram inferiores no ano agrícola de 2014/2015, no entanto, para a última não se constatou diferença entre o primeiro e o segundo ciclos ($p > 0,05$).

Em relação ao ano agrícola, constatou-se maior variabilidade na composição química do colmo. Os teores de MS, MM e MO apresentaram comportamento semelhante ao observado na planta inteira. A lignina assim como na fração folha e na planta inteira demonstrou aumento gradual entre os ciclos analisados.

Os teores de PB, FDN, FDA e celulose no colmo apresentaram interação significativa entre ciclo de produção e arranjo (Tabela 4). No arranjo $3 \times 2 + 20$ m foi verificado redução da qualidade nutricional com queda no teor de PB e incremento nos componentes relacionados à

parede celular. Esse comportamento foi evidenciado entre o segundo e o terceiro anos agrícolas. Nos demais arranjos verificaram-se variações apenas nas frações fibrosas com incrementos nos teores de FDN, FDA e celulose do segundo para o terceiro ciclo. De modo geral, entre os dois primeiros anos agrícolas houve redução nas médias para essas três respostas no arranjo de 2x2 + 9 m.

Tabela 4 – Teores de proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN) e ácido (FDA) e de celulose do colmo de *Urochloa decumbens* em sistema silvipastoril com *Eucalyptus* sp. nos ciclos de pastejo

Ciclo	Arranjo		
	3x2 + 20 m	2x2 + 9 m	9x2 m
PB (% MS)			
2013/2014	8,76 aA ¹	7,30 aA	7,80 aA
2014/2015	8,25 aAB	8,79 aA	8,72 aA
2015/2016	6,63 aB	7,80 aA	7,36 aA
FDN (% MS)			
2013/2014	76,16 bB	78,51 aB	77,16 bB
2014/2015	75,21 aB	75,05 aC	75,65 aC
2015/2016	82,39 aA	80,53 bA	81,28 abA
FDA (% MS)			
2013/2014	42,14 bB	44,01 aB	42,68 abB
2014/2015	41,85 aB	41,90 aC	42,99 aB
2015/2016	49,79 aA	47,70 bA	47,94 bA
Celulose (% MS)			
2013/2014	35,41 aB	37,30 aB	35,76 aB
2014/2015	35,22 aB	34,81 aC	35,76 aB
2015/2016	40,25 aA	39,13 aA	39,51 aA

¹Médias seguidas por letras distintas, minúscula na linha e maiúscula na coluna, diferem pelo teste SNK ($p < 0,05$), $n=9$.

A composição da planta inteira apresentou efeito da interação entre ano agrícola e corte (Tabela 5). Os teores das frações FDN, FDA e lignina se apresentaram inferiores nos primeiros cortes ao passo que o de PB, no último corte.

Tabela 5 – Matéria seca, matéria mineral (MM), proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), hemicelulose (HEM), celulose (CEL) e lignina em *Urochloa decumbens* em sistema silvipastoril com *Eucalyptus* sp. em diferentes cortes

Ciclo	Corte			
	1	2	3	4
Matéria seca (%)				
2013/2014	26.43 bA	25.49 bA	33.03 aA	26.95 bC
2014/2015	19.23 bB	17.88 bB	17.73 bC	30.91 aB
2015/2016	20.14 bB	17.40 cB	21.82 bB	43.80 aA
PB (% DM)				
2013/2014	13.22 aA	9.58 bB	9.73 bB	10.76 bA
2014/2015	14.15 aA	13.30 aA	13.43 aA	9.40 bAB
2015/2016	12.64 aA	12.64 aA	10.03 bB	8.06 cB
FDN (% DM)				
2013/2014	64.33 bA	71.72 aA	70.50 aA	69.76 aAB
2014/2015	65.65 aA	67.41 aB	67.21 aB	68.34 aB
2015/2016	66.67 bA	71.28 aA	71.91 aA	72.05 aA
FDA (% DM)				
2013/2014	32.63 cB	39.87 aA	37.20 bAB	35.63 bB
2014/2015	33.23 aA	33.97 aB	35.99 aB	36.26 aB
2015/2016	34.63 bA	36.27 bB	39.76 aA	40.72 aA
LIG (% DM)				
2013/2014	3.30 aB	4.16 aA	3.22 aC	3.30 aC
2014/2015	3.30 cB	3.51 cA	4.45 bB	5.48 aB
2015/2016	4.38 cA	4.10 cA	5.27 bA	7.24 aA

¹Médias seguidas por letras distintas, minúscula na linha e maiúscula na coluna, diferem pelo teste SNK ($p < 0,05$), $n=9$

Nas análises por contrastes para os níveis nutricionais de *U. decumbens* no sistema silvipastoril em relação ao monocultivo verificou-se maior similaridade entre a pastagem adubada e o arranjo 3x2 + 20 m (Tabela 6). Apenas as médias para proteína e hemicelulose diferiram, ambas com valor superior no sistema silvipastoril.

Tabela 6 - Estimativa dos contrastes entre pastagem em monocultivo adubada e arranjos de eucalipto para a composição bromatológica de *Urochloa decumbens*

Arranjo	Variável								
	MS	MM	EE	PB	FDN	FDA	HCEL	CEL	LIG
3x2+20 m	0,23 ^{ns}	-0,34 ^{ns}	0,17 ^{ns}	-1,77 [*]	1,6 ^{ns}	0,86 ^{ns}	0,76 [*]	0,41 ^{ns}	0,28 ^{ns}
2x2+9 m	1,61 [*]	-0,84 [*]	-0,04 ^{ns}	-3,16 [*]	3,09 [*]	1,87 [*]	1,22 [*]	1,58 [*]	0,58 [*]
9x2 m	1,98 [*]	-0,98 [*]	0,05 ^{ns}	-3,15 [*]	3,02 [*]	1,76 [*]	1,23 [*]	1,38 [*]	0,37 ^{ns}

ns- não significativo; *significativo ($p < 0,05$), teste de Fisher.

No contraste entre a pastagem adubada e o arranjo de 2x2 + 9 m e, notou-se maior variação para as médias da composição química da forrageira. Apenas o conteúdo de extrato

etéreo não diferiu entre os dois tratamentos. Por outro lado, na análise entre essa e o arranjo de 9x2m, verificou-se semelhança apenas para o extrato etéreo e lignina. Para ambos contrastes, apenas proteína bruta e matéria mineral foram superiores no sistema integrado (Tabela 6).

A pastagem não adubada também demonstrou maior similaridade em relação ao arranjo de 3x2 + 9 m (Tabela 7). No entanto, apenas as variáveis EE, FDA, celulose e lignina tiveram médias semelhantes entre esses. Os teores de MM e PB foram superiores no sistema silvipastoril.

Tabela 7 - Estimativa dos contrastes entre a pastagem em monocultivo sem adubação em função dos arranjos de eucalipto para a composição bromatológica de *Urochloa decumbens*

Arranjo	Variável								
	MS	MM	EE	PB	FDN	FDA	HCEL	CEL	LIG
3x2+20 m	4,62*	-0,58*	-0,08 ^{ns}	-3,76*	2,85*	1,32 ^{ns}	1,62*	0,91 ^{ns}	0,11 ^{ns}
2x2+9 m	6,0*	-1,08*	-0,29*	-5,11*	4,34*	2,33*	2,08*	2,08*	0,41 ^{ns}
9x2 m	6,37*	-1,22*	-0,2 ^{ns}	-5,1*	4,27*	2,22*	2,09*	1,88*	0,2 ^{ns}

ns- não significativo; *significativo (p<0,05), teste de Fisher.

Na análise do contraste entre o arranjo 2x2 + 9 m e a pastagem sem adubação foi verificado ausência de diferença significativa apenas para o teor de lignina (Tabela 7). O arranjo de 9x2 m também apresentou grande variabilidade em relação à pastagem sem adubação. Além da lignina e EE também foi semelhante entre os dois tratamentos. Apenas PB e MM foram superiores nesses dois arranjos frente à forrageira não adubada.

Com relação à composição nutricional da lâmina foliar da forrageira entre os sistemas verificou-se melhor composição no sistema silvipastoril do que no monocultivo (Tabela 8). No SSP o teor de PB foi superior em 2,66% relação ao monocultivo com adubação (13,14%) e em 3,89% comparada ao manejo sem adubação (11,91%). Para os teores de FDN e FDA o cultivo no SSP apresentou menor média para ambas respostas comparadas ao monocultivo, independente da utilização ou não de adubação nesse último.

Tabela 8 – Estimativas de contrastes da média dos sistemas silvipastoris (SSP) e pastagem monocultivo adubada (P1) ou pastagem monocultivo sem adubação (P2) para a composição bromatológica da lâmina foliar de *Urochloa decumbens*

Contraste	Variável							
	MS	MM	EE	PB	FDN	FDA	CEL	LIG
SSP vs P1	0,12 ^{ns}	-0,35 ^{ns}	0,42 ^{ns}	-2,66*	2,74*	0,7*	0,37 ^{ns}	0,26 ^{ns}
SSP vs P2	1,33*	-0,19 ^{ns}	-0,17 ^{ns}	-3,89*	2,93*	0,93*	0,95*	0,09 ^{ns}

MS- Matéria seca; MM- matéria mineral; EE- extrato etéreo; PB- proteína bruta; FDN- fibra em detergente neutro; FDA- fibra em detergente ácido; HCEL- hemicelulose; CEL- celulose; LIG- lignina.

ns- não significativo; *significativo (p<0,05), teste de Fisher.

3.5 Discussão

A variação na distribuição espacial das arbóreas dos arranjos no sistema silvipastoril promove diferentes intensidade de sombreamento no sub-bosque. Desse modo, observou-se variabilidade na composição da forrageira em função da densidade e arranjo do componente arbóreo, conforme observado na tabela 1. Tosta et al. (2015) analisaram a qualidade de *U. brizantha* em SSP com babaçu (*Attaleia speciosa*) sob diferentes arranjos e intensidades de sombreamento e relataram resultados discordantes dos obtidos neste estudo. Esta diferença obtida em relação à pesquisa de Tosta et al. (2015) se explica por diferenças de sub-bosque, quando se utilizou outra espécie arbórea, além de outros fatores como solos e água. Os autores verificaram ausência de efeito do sombreamento sobre os teores de FDN, FDA, celulose, hemicelulose e lignina. Esse comportamento também foi descrito em *U. brizantha* cv Marandú por Reis et al., (2013), a exceção do FDA para qual os autores constataram redução nos teores com aumento do sombreamento. Com relação aos teores de MS, Santos (2014) avaliaram *U. decumbens* sob sombreamento de 0, 30, 50 e 70% e verificou redução nos teores médios de 46,38, 41,47, 41,67 e 27,22%, respectivamente. O resultado obtido para o SSP nesse trabalho foi próximo ao descrito pelo autor para a intensidade de sombreamento de 70%.

Wilson (1996) cita que em condições de sombreamento natural, ocorrem aumentos na degradação da matéria orgânica e da reciclagem de nitrogênio (N) no solo. Desse modo, o maior fluxo do elemento nas áreas sob as copas das árvores justificaria o incremento na PB no silvipastoril com maior densidade de árvores. Paciullo et al., (2011) avaliaram os teores de PB em *U. decumbens* a diferentes distâncias do componente da faixa de arbóreas de *E. grandis* e *Acacia* spp. e observaram médias superiores em 51% na área sob a copa das árvores em relação à distância de 13,5m destas. Os autores destacaram ainda que sob maior sombreamento pode ocorrer atraso no desenvolvimento ontogênico da forrageira, o que contribui para aumento nos teores de PB. Esse comportamento justificaria ainda os resultados com relação aos constituintes da parede celular. Embora o aumento sombreamento possa induzir o alongamento do caule e, conseqüente, aumento nessas frações (Sousa et al., 2010).

Os dados obtidos em relação aos teores de PB e FDN entre os arranjos diferem dos observados por Araújo et al., (2013). Os autores avaliaram os teores desses componentes em *U. decumbens* em silvipastoril com *E. urophylla* em arranjos 3x2, 6x4 e 10x4 m e não verificaram variação significativa nas respostas. No entanto, a arbórea no sistema avaliado apresentava-se apenas com 24 meses pós plantio. Assim, espera-se menor intensidade de

sombreamento sobre a pastagem quando comparado aos arranjos avaliados neste estudo, nos quais o eucalipto apresentava entre cinco e sete anos.

Paciullo et al. (2007) avaliaram o valor nutricional na lâmina foliar e no colmo de *U. decumbens* em sistema silvipastoril e obtiveram valores inferiores para PB (12,4%) e superiores para FDN (67,4%), FDA (31,5%) e lignina (5,4%). Com relação ao colmo, o comportamento foi semelhante, com menor teor de PB (4,7%) e maiores para FDN (81,75%) e lignina (9,0%), no entanto FDA (43,1%) foi próxima à obtida neste trabalho. Os sistemas avaliados pelos autores não foram submetidos a nenhuma adubação, fato que justificaria a melhora da composição nutricional obtido no presente estudo.

O tipo de cultivar utilizado no sistema silvipastoril não apresentou efeito sobre a composição química da *U. decumbens* para planta inteira, folha e colmo (Tabela 2). A ausência do efeito cultivar do eucalipto sugere uma baixa diferenciação entre estes quanto à arquitetura das árvores, produção de serapilheira e interceptação de luminosidade. Os resultados diferem dos apresentados por Oliveira et al. (2016) que avaliaram SSP com os cultivares de eucalipto VM58 e GG100 como estratégia de recuperação de pastagem de *U. brizantha* cv Marandú degradada. Os arranjos utilizados foram de fila dupla de (2x2) + 10 m (833 árvores ha⁻¹) e de (3x3)+9 m (555 árvores ha⁻¹) e de fila simples 9x3 m (370 árvores ha⁻¹). Os autores verificaram interação entre cultivar e arranjo, com produtividade semelhante para a forrageira nos arranjos com menor densidade. No tratamento com maior população de árvores a integração com o cultivar GG100 resultou em menor produção da forragem.

Com relação ao ciclo de produção foi constatado efeito em todos os componentes na planta inteira ($p < 0,05$). Esse resultado pode ser explicado pelo comportamento do clima nos períodos avaliados. Ao longo dos meses de outubro a maio, período no qual foram realizados os cortes da forrageira, as chuvas contabilizaram 864, 1.166 e 1.008mm para os anos agrícolas 2013/2014; 2014/2015 e 2015/2016, respectivamente. No segundo ano agrícola foi verificada a ocorrência de um intervalo de 20 dias sem chuvas em janeiro de 2015. No primeiro foram verificados dois períodos significativos com ausência de precipitação pluviométrica, de 16 dias em dezembro de 2013 e de 38 dias entre janeiro e março de 2014. Por fim, no ano agrícola 2015/2016 foram identificados três intervalos sem precipitações pluviométricas, de 20 dias em novembro de 2015, 26 dias em fevereiro de 2016 e de 20 dias em março de 2016.

Ainda com relação aos anos agrícolas constatou-se aumento nas frações fibrosas entre o primeiro e segundo cortes da forrageira e redução nos teores de proteína (Tabela 5). Esse comportamento decorre do aumento da participação de material senescente e redução no

crescimento da forrageira em função das condições climáticas menos favoráveis na transição da estação chuvosa para a de seca. Esse cenário reflete principalmente no aumento do teor de lignina, observados no segundo e terceiro ciclos, os quais tiveram o quarto corte realizados mais tardiamente em função de fatores climáticos.

Guenni et al. (2002) observaram taxa de utilização de água *U. decumbens* e *U. brizantha* de 0,251L dia⁻¹ e concluíram que as duas espécies são mais indicadas para curtos períodos de seca. No entanto, Santos et al. (2013) verificaram efeitos significativos do estresse hídrico sobre a *U. brizantha* a partir de 14 dias sobre restrição de água. Nessas condições são descritos redução na expansão da lâmina foliar, diminuição no número de folhas e perfilhos, aumento da taxa de senescência e redução na razão folha: colmo (Pezzopani et al. 2015). Tais fatores apresentam relação direta com a qualidade nutricional, justificando os menores teores proteicos e maiores da fração fibrosa no primeiro e terceiro anos agrícolas, principalmente nos cortes realizados ao final do período chuvoso.

Diferenças nas condições climáticas, principalmente quanto à distribuição regular das chuvas pode ter apresentado efeito também sobre a composição bromatológica da lâmina foliar. Conforme Duque et al. (2013) sobre estresse hídrico moderado ocorre perda primária de água celular e redução acentuada na taxa de expansão foliar. Esse comportamento justificaria o menor teor de matéria seca na lâmina foliar no último ano agrícola avaliado. Conforme variáveis climáticas obtidas para o período, houve condições mais favoráveis à ocorrência de estresse hídrico nesse período (Figura 1).

Na análise por contrastes para a composição da planta inteira de *U. decumbens* no silvipastoril em relação ao monocultivo verificou-se maior similaridade entre a pastagem adubada e o arranjo 3x2 + 20 m (Tabela 5). Esse arranjo apresenta menor densidade de árvores e maior espaçamento entre os renques com eucalipto. Assim espera-se composição mais próxima desse para a pastagem adubada em relação aos demais tratamentos do SSP. Por outro lado, apesar da distância entre os renques de eucalipto para os arranjos 2x2 + 9 e 9x2 m serem a mesma (9m), no primeiro a população de arvores é 64% superior (909 vs 555 árvores ha⁻¹). Assim espera maior intensidade de sombreamento no arranjo de (2x2) + 9 m, portanto esse apresenta menor similaridade para as pastagens em monocultivo.

Costa et al., (2016) avaliaram características de pastagem de *U. decumbens* em monocultivo e em silvipastoril com *Mimosa caesalpinifolia* Benth. e *Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp. Os arranjos avaliados nos sistemas integrados foram (1x0,5) + 15m para os sistemas com as duas arbóreas, totalizando 2500 árvores ha⁻¹. Apesar da alta

densidade de árvores nos sistemas, os autores não verificaram diferença entre os tratamentos para os teores médios de PB ao contrário do observado neste trabalho. Os autores avaliaram a forrageira aos 28 dias, o que pode justificar a ausência de efeito do sombreamento sobre essa variável. Em contrapartida, Sousa et al. (2010) verificaram redução dos teores de MS e aumento na PB em *U. brizantha* em consórcio com aroeira (*Myracrodruon urundeuva*) com baixa densidade populacional (140 árvores hectare). No entanto, não se constataram efeito do tipo de cultivo sobre os teores de MM, FDN e FDA. A diferença entre os resultados para a fração fibrosa pode ser justificada pela menor densidade de árvores utilizada pelos autores em relação às do presente estudo.

Na literatura tem sido relatado maiores teores de proteína bruta em pastagens sobre sombreamento moderado em relação à mesma espécie sob condições de sol pleno. Esse comportamento decorre dos maiores teores de nutrientes no solo nas áreas sob a copa das árvores (Paciullo et al. 2011). Nessas, o material senescente originado pelas arbóreas permite incrementos de nitrogênio (N) no solo. Xavier et al., (2014) relataram incrementos de 34 kg de N ha⁻¹ em solos sob sistema silvipastoril em relação à área com a mesma pastagem em monocultivo. Os maiores teores de MM na forragem no SSP podem ser justificados também pelo incremento na deposição de liteira e como consequência maior ciclagem de nutrientes.

Em relação à pastagem não adubada também se constatou maior similaridade dessa com o arranjo de 3x2 + 20 m (Tabela 7). Os teores de MM e PB foram superiores no sistema silvipastoril. Em contrapartida, os teores de MS, FDN e hemicelulose foram superiores pastagem sem adubação. Esses resultados também podem ser atribuídos à maior ciclagem de nutrientes por meio da deposição de liteira da arbórea e pelo estado ontogênico menos avançado na gramínea sob o eucalipto.

Os arranjos com 9 m entre renques apresentaram composição bromatológica distinta da observada na pastagem não adubada (Tabela 7). Apenas PB e MM foram superiores nos tratamentos silvipastoris. Os resultados observados quanto a essas duas variáveis podem ser explicados pela menor disponibilidade de minerais no solo em decorrência da ausência de adubação. A PB na pastagem adubada foi superior à obtida na área sem adubação (8,73 e 6,78%, respectivamente), possivelmente em consequência da maior disponibilidade de N. De acordo com Xavier et al. (2011), a presença de árvores promove o aumento de deposição de liteira, maior disponibilidade de água e incrementos na mineralização no solo. Assim, espera-se aumento no conteúdo mineral da *U. decumbens* sob sistema silvipastoril. Esse comportamento foi descrito por Guenni et al. (2008) que relataram maiores teores de N,

fósforo e potássio em *U. decumbens* sob sombreamento quando comparada à gramínea em pleno sol.

O teor de extrato etéreo médio no SSP foi de 1,64%, semelhante ao encontrado por Lopes et al. (2010) em *U. decumbens* aos 56 dias em sistema de monocultivo (1,70%), mesmo valor obtido na pastagem sob adubação (1,70%).

A lâmina foliar da forrageira no silvipastoril apresentou melhor composição bromatológica em relação à pastagem em monocultivo (Tabela 8). No SSP verificaram-se maiores teores de PB e menores para FDN e FDA, independente da utilização ou não de adubação da gramínea a pleno sol. Esses resultados corroboram com os achados de Guenni et al. (2008). Os autores verificaram 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⁻¹ para 32g de N kg⁻¹ de lâmina foliar sem adubação nitrogenada. Por outro lado, com a aplicação de 70 kg de N ha⁻¹ os teores foram de 21g kg⁻¹ para 32g de N kg⁻¹ de lâmina foliar, respectivamente. De acordo com Cruz et al. (1995), o aumento da concentração de N foliar em *Urochloa* ssp. sob sombreamento nem sempre está associada à redução na produtividade vegetal. Essa condição pode ser esperada, particularmente, quando os níveis desse elemento no solo são altos, condição obtida mediante adubação nitrogenada.

Os resultados obtidos para os teores de PB corroboram com os descritos por Paciullo et al. (2007). Os autores verificaram teores superiores na folha de *U. decumbens* em SSP (12,4%) em relação ao monocultivo (9,6%) para essa variável. Para os teores de FDN e FDA os menores valores no SSP são explicados pela idade fisiológica menos avançada da folha, em decorrência do sombreamento (Paciullo et al. 2011). Com relação à lignina, os resultados observados condizem com o descrito na literatura (Reis et al. 2013; Sousa et al. 2010; Paciullo et al. 2007). Embora a ontogenia menos pronunciada possa promover redução dos teores desse componente, o sombreamento induz o estiolamento que por outro lado gera incrementos. Desse modo, não há consenso quanto ao comportamento da lignina frente ao sombreamento natural decorrente do cultivo de *U. decumbens* sob silvipastoril.

3.6 Conclusão

A *Urochloa decumbens* em silvipastoril com *Eucalyptus* spp., nos arranjos 3x2 + 20 m, 2x2 + 9 m e 9x2 m, apresentou maior teor de proteína bruta em relação à produção em monocultivo. A integração das espécies contribui também para redução nos teores de matéria

seca, fibra em detergente neutro, fibra em detergente ácido e hemicelulose. As frações lignina e extrato etéreo demonstraram pouca variabilidade em relação ao consórcio da gramínea com eucalipto.

A proteína bruta apresenta incremento com o adensamento do *Eucalyptus* spp. A fibra em detergente neutro, fibra em detergente ácido, hemicelulose e lignina, por outro lado demonstram redução nos teores em arranjos com maior densidade de arbóreas.

A *U. decumbens* em silvipastoril com *Eucalyptus* spp. cultivares GG100, I144 e VM58 não difere quanto à composição bromatológica para as frações colmo, lâmina foliar e para planta inteira.

Agradecimentos

Este trabalho contou com financiamentos da FAPEMIG e da CAPES. Os autores agradecem aos funcionários e professores da UFMG e do Campo Experimental de Santa Rita, pelo apoio.

3.7 Referências

ARAÚJO, R.P.; ALMEIDA, J.C.C.; ARAÚJO S.A.C. et al. Produção e composição química de *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk em sistema silvipastoril sob diferentes espaçamentos com *Eucalyptus urophylla* s.t. Blake. *Rev. Bras. Agropecu. Sustent.*, v.3, n.1, p.90-98, 2013.

BONO, J.A.M.; MACEDO, M.C.M.; TORMENA, C.A. Qualidade física do solo em um latossolo vermelho da região sudoeste dos cerrados sob diferentes sistemas de uso e manejo. *R. Bras. Ci. Solo*, v.37, n.3, p.743–753, 2013.

COSTA, S.B.M.; MELLO, A.C.L.; DUBEUX JR. J.C.B. et al. Livestock performance in warm-climate silvopastures using tree legumes. *Agronomy Journal*, v.108, n. 5, 2026–2035, 2016.

CRUZ, P.; TOURNEBIZE, C.; GAUDICHAU, C. et al. Effect of shade on growth, nitrogen content and CO₂ leaf assimilation in a tropical perennial grass. In: Sinoquet, H. and Cruz, P. (eds) *Ecophysiology of tropical intercropping*. INRA, Paris, France, 1995, pp. 284–293.

CUBBAGE, F.; BALMELLI, G.; BUSSONI, A. et al. Comparing silvopastoral systems and prospects in eight regions of the world. *Agroforestry Syst.*, v.86,n.3, p.303–314, 2012.

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

DUQUE, A.S.; ALMEIDA, A.M.; SILVA A.B. et al. Abiotic stress responses in plants: unraveling the complexity of genes and networks to survive. In: Vahdati K. and Leslie C.

(eds.) *Abiotic Stress - Plant Responses and Applications in Agriculture*. InTech, Rijeka, Croatia, 2013. pp. 49-101.

GALDINO, S.; SANO, E.E.; ANDRADE, R.G. et al. Large-scale modeling of soil erosion with rusle for conservationist planning of degraded cultivated Brazilian pastures. *Land Degrad. Dev.*, v.27, n.3773-784, 2016.

GUENNI, O.; MARÍN, D.; BARUCH, Z. Responses to drought of five *Brachiaria* species. I. Biomass production, leaf growth, root distribution, water use and forage quality. *Plant and Soil*, v.243, n.2, p.229-241, 2002.

GUENNI, O.; SEITER, S.; FIGUEROA, R. Growth responses of three *Brachiaria* species to light intensity and nitrogen supply. *Tropical Grasslands*, v.42, n.2, p.75-87, 2008.

GUERRA, C.R.S.B.; MORAES, M.L.T.; RECCO, C.R.S.B. et al. Forage yield and nutritive value of naturally growing *Brachiaria decumbens* as undergrowth to an aroeira tree stand in a silvopasture system. *Afr. J. Agric. Res.*, v.11, n.40, p.3922-3928, 2016.

IBGE- *Mudanças na cobertura e uso da terra do brasil 2000 – 2010 – 2012 – 2014*. Rio de janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2016. 32p.

LINDGREN, P.M.F.; SULLIVAN, T. P. Response of forage yield and quality to thinning and fertilization of young forests: implications for silvopasture management. *Can. J. For. Res.*, v.44, n.4, p.281-289, 2014.

LOPES, F.C.F.; PACIULLO, D.S.C.; MOTA, E.F. et al. Composição química e digestibilidade ruminal in situ da forragem de quatro espécies do gênero *Brachiaria*. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, v.62, n.4, p.883-888, 2010.

OLIVEIRA, C.H.R.; REIS, G.G.; REIS, M.G.F. et al. Dynamics of eucalypt cultivares canopy and *Brachiaria brizantha* production in silvopastoral systems with different spatial arrangements. *Agroforestry Syst.*, v.90, n.6, p.1077-1088, 2016.

PACIULLO, D.S.C.; CAMPOS, N.R.; GOMIDE, C.A.M et al. Crescimento de capim-braquiária influenciado pelo grau de sombreamento e pela estação do ano. *Pesq. Agropec. Bras.*, v.43, n.7, p.917-923, 2008.

PACIULLO, D.S.C.; CARVALHO, C.A.B.; AROEIRA, L.J.M. et al. Morfofisiologia e valor nutritivo do capim braquiária sob sombreamento natural e a sol pleno. *Pesq. Agropec. Bras.*, v.42, n.4, p.573-579, 2007.

PACIULLO, D.S.C.; GOMIDE, C.A.M.; CASTRO, C.R.T. et al. Características produtivas e nutricionais do pasto em sistema agrossilvipastoril, conforme a distância das árvores. *Pesq. Agropec. Bras.*, v.46, n.10, p.1176-1183, 2011.

PEZARICO, C.R.; VITORINO, A.C.T.; MERCANTE, F.M.; DANIEL, O. Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais. *Rev. Cienc. Agrar.*, v.56, n.1, p.40-47, 2013.

PEZZOPANE, C.G.; SANTOS, P.M.; CRUZ, P. Get al. Hydric deficiency in genotypes of *Brachiaria brizantha*. *Ciência Rural*, v.45, n.5, p.871-876, 2015.

REIS, G.L.; QUINTÃO LANA, A.M.; EMERENCIANO NETO, J.V. et al. Production and chemical composition of marandú palisadegrass under different percentages of shading and nitrogen doses. *Bioscience Journal*, v.29, 1606-1615, 2013.

SANTOS, C.G. Avaliação de gramíneas forrageiras tropicais em diferentes níveis de sombreamento. *Revista Científica de Produção Animal*, v.16, n.1, p.68-78, 2014.

SANTOS; P.M. CRUZ; P.G., ARAÚJO; L.C. et al. Response mechanisms of *Brachiaria brizantha* cultivars to water deficit stress. *R. Bras. Zootec.*, v.42, n.11, p.767-773, 2013.

SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. *Análise de Alimentos (métodos químicos e biológicos)* 3 ed. Viçosa: UFV, 2002. 235p.

SOUSA, L.F., MAURÍCIO, R.M., MOREIRA, G.R. et al. Nutritional evaluation of “Braquiaraão” grass in association with “Aroeira” trees in a silvopastoral system. *Agrofor Syst.*, v.79, n.2, p.189-199, 2010.

TONUCCI, R.G.; NAIR, P.K.R.; NAIR, V.D. et al. Soil carbon storage in silvopasture and related land-use systems in the Brazilian Cerrado. *J Environ Qual.*, v.40, n.3, p.833-841, 2011.

TOSTA, X.M.; RODRIGUES, R.C.; SANCHÊS, S.S. et al. Nutritive value and in situ rumen degradability of Marandú palisade grass at different locations within the pasture in a silvopastoral system with different babassu palm densities. *Trop grassl.-Forrajes trop.*, v.3, n.3, p.187-193, 2015.

VAN SOEST, P.J.; ROBERTSON, J.B.; LEWIS, B.A. Methods for dietary fiber, neutral detergent and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.*, v.74, n.10, p.3583-3597, 1991.

WILSON J.R. (1996) Shade-stimulated growth and nitrogen uptake by pasture grasses in a subtropical environment. *Aust. J. Agric. Res.*, v.47, n.7, p.1075-1093.

XAVIER, D.F.; DA SILVA LÉDO, F.J.; DE CAMPOS PACIULLO, D.S. et al. Nitrogen cycling in a *Brachiaria*-based silvopastoral system in the Atlantic forest region of Minas Gerais, Brazil. *Nutr Cycl Agroecosys.*, v.99, n.1-3, p.45-62, 2014.

XAVIER, D. F.; LÉDO, F. J.S.; PACIULLO, D. S. C. et al. Dinâmica da serapilheira em pastagens de braquiária em sistema silvipastoril e monocultura. *Pesq. Agropec. Bras.*, v.46, n.10, p.1214-1219, 2011.

CAPÍTULO 4 – ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E ESTOQUE DE CARBONO EM SISTEMA SILVIPASTORIL COM *Urochloa decumbens* COM DIFERENTES ARRANJOS ESPACIAIS DE *Eucalyptus* spp.

4.1 Resumo

Objetivou-se avaliar a dinâmica do acúmulo de biomassa de liteira, o estoque de carbono e os parâmetros químicos do solo em sistema silvipastoril (SSP) de *Eucalyptus* spp. e *Urochloa decumbens* sob diferentes arranjos espaciais. O experimento foi conduzido em delineamento em bloco ao acaso em arranjo em split-split-plot. O acúmulo de liteira foi superior sob a copa das arbóreas ($293,7\text{g m}^{-2}$) em relação ao centro da parcela ($185,2\text{g m}^{-2}$) apenas no sexto ano. Houve incremento na biomassa de liteira entre o sexto e oitavo ano do sistema. O pH na camada de 0-40 cm foi de 5,15 e não diferiu entre os arranjos espaciais e quanto ao sítio avaliado. O teor de minerais no solo demonstrou pouca variabilidade em função do arranjo e sítio avaliado na parcela e de modo geral, apresentaram incremento com o tempo de implantação do SSP e redução em relação à profundidade. O teor de cálcio foi inferior no arranjo (3x2) + 20m e o fósforo inferior sob a copa das arbóreas. O teor e o estoque de carbono não variaram quanto ao arranjo e local na parcela e apresentou incremento de 37,8% entre o terceiro e oitavo ano.

Palavras chave: fertilidade; matéria orgânica do solo; minerais; sistemas agroflorestais.

4.2 Introdução

Nas últimas três décadas as mudanças climáticas e o papel da agropecuária nesse contexto têm sido amplamente debatido (IPCC, 2014; Medhi et al., 2015). A participação do setor nesse cenário decorre das mudanças na utilização do solo. Por meio dessa, o agronegócio altera processos biogeoquímicos a exemplo do ciclo dos nutrientes e, em geral, promove incrementos na erosão e na emissão de gases do efeito estufa (GEE) (Sterling et al., 2013). Em escala global, no entanto, a agricultura constitui o setor econômico mais susceptível aos impactos advindos da mudança no clima (Bussi et al., 2017).

A adoção de estratégias de mitigação de GEE pela agricultura constitui objetivo chave na políticas para controle do aquecimento global. No Brasil, essas ações são contempladas no Plano para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura (Plano ABC) (Brasil, 2010; 2012). O Plano ABC visa à adoção de técnicas que minimizem a emissão de GEE, a exemplo do Dióxido de Carbono (CO_2), e promovam incremento de

Carbono via biomassa vegetal e no solo. Entre as metas constam a recuperação de 15 milhões de hectares de pastagens degradadas e a expansão das áreas com sistemas agroflorestais em 4 milhões de hectares até o ano de 2020.

A inclusão de arbóreas em sistemas agrícolas promovem alterações nos aspectos químicos do solo. O sistema radicular explora perfis de solo mais profundos e por meio da deposição da liteira favorece a reciclagem de nutrientes (Iwata et al. 2012). A dinâmica da umidade do solo também é alterada pela introdução de árvores no sistema agrícola (Zhang et al., 2016). Esses fatores interferem diretamente na atividade microbológica do solo, e consequentemente, na mineralização da matéria orgânica.

Os sistemas silvipastoris (SSP) integram na mesma área arbóreas e forrageiras e apresentam notável aplicação na recuperação de pastagens degradadas. Esses promovem incrementos na biomassa vegetal e no carbono orgânico do solo (COS). Entretanto, a competição por recursos de produção podem impactar negativamente a produtividade da forrageira. Desse modo, o desempenho desses sistemas do ponto de vista econômico e ambiental é dependente da escolha adequada dos componentes e do arranjo espacial a ser adotado. Desta forma, o objetivo foi avaliar os parâmetros químicos do solo e mensurar os teores de carbono no solo e na liteira em pastagens recuperada por meio de sistema silvipastoril com *Eucalyptus* spp. e *Urochloa decumbens* sob diferentes arranjos espaciais.

4.3 Material e métodos

4.3.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido no Campo Experimental Santa Rita pertencente à Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (Epmig). A unidade localiza-se no município de Prudente de Moraes, Estado de Minas Gerais, Brasil, nas coordenadas de latitude 19°27'15'' Sul e Longitude 44°09'11'' Oeste e altitude de 732m. O clima da região é do tipo AW conforme classificação de Köppen, com estação seca, de maio a outubro e chuvosa, de novembro a abril. O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, textura argilosa (Embrapa, 2013). No ano de 2008, antes da implantação da área experimental foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0-20cm e 20-40cm para caracterização química do solo (Quadro 1).

Quadro 1 - Características químicas do solo da área experimental nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm

Profundidade cm	pH ¹	H+Al ² cmol _c dm ⁻³	Al ³	Ca ³	Mg	K ⁴ Mg dm ³	P ⁴	MO ⁵ dag kg ⁻¹
0-20	5,4	7,5	0,2	3,2	0,7	70,3	3,7	4,3
20-40	5,3	7,6	0,6	2,5	0,5	56,7	3,7	4,3

¹ pH- H₂O relação 1:2,5; ² Extrator Ca (OAc)₂ 0,5 mol pH 7,0; ³ Extrator KCl 1 mol/L; ⁴ Extrator Mehlich-1; ⁵ Método Walkley e Black.

A área de 10 ha foi implantada em 2008 como estratégia de recuperação de uma pastagem de *Urochloa decumbens* degradada, utilizando o sistema agrossilvipastoril. No ano da implantação foi efetuada a aplicação de duas toneladas hectare⁻¹ de calcário dolomítico para correção da acidez. Na ocasião do plantio realizou-se a gradagem e a subsolagem do solo nas linhas de plantio do eucalipto e aplicou-se 400 kg ha⁻¹ de fosfato natural reativo.

Nos anos agrícolas de 2009/2010; 2010/2011 e 2011/2012 foram cultivados milho (*Zea mays*) em consórcio com *Urochloa decumbens* cv. Basilisk (syn. *Brachiaria decumbens*) nas faixas entre os renques de *Eucalyptus* spp. A implantação foi efetuada na área entre os renques, respeitando uma distância mínima de 1,5 m da linha de eucalipto.

A adubação de manutenção das pastagens no sistema integrado foi composta por 100 kg de N e 100 kg de K₂O ha⁻¹ em 2013/2014 e 2014/2015. As aplicações dos fertilizantes foram realizadas nos meses de dezembro. A adubação nitrogenada foi dividida em duas aplicações, sendo a segunda realizada nos meses de março dos respectivos anos agrícolas. Todas as aplicações de corretivos e fertilizantes foram efetuadas conforme recomendações descritas por Ribeiro et al., (1999). Para redução da interceptação da luminosidade pelas arbóreas efetuou-se a desrama das arbóreas em setembro de 2009 e em março de 2010.

4.3.2 Descrição dos Tratamentos

No período experimental o sistema caracterizava-se como silvipastoril (SSP) composto pelo eucalipto disposto em dois arranjos de linha dupla de (3x2) + 20 m (434 árvores ha⁻¹) e (2x2) + 9 m (909 árvores ha⁻¹) e um em linha simples de 9x2 m (556 árvores ha⁻¹). Os renques foram estabelecidos no sentido Leste-Oeste. Dentro dos arranjos foram implantadas faixas com os cultivares GG100, I144 (*E. grandis* x *E. urophylla*) e VM 58 (*E. grandis* x *E. camaldulensis*).

4.3.3 Coleta de amostras de solo e liteira

Amostras de solo para quantificação dos estoques de carbono foram coletadas em dezembro de 2011 e de 2015. No SSP a amostragem foi conduzida sob a copa das árvores e no centro da parcela (figura 1) nas camadas de 0-20 cm e 20-40 cm. Em cada unidade experimental coletaram-se três subamostras referentes a cada faixa com os três cultivares de eucalipto.

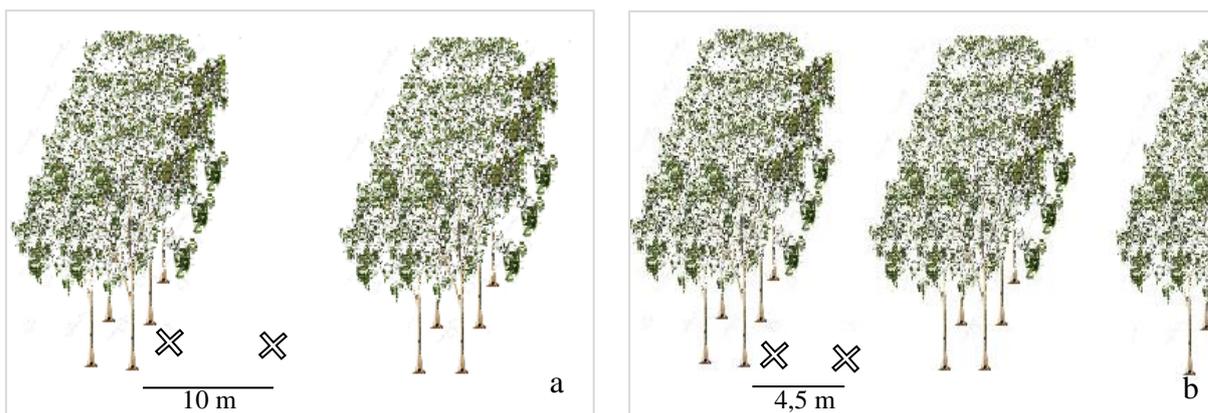


Figura 1 – Esquema de coleta de amostras de solo e liteira no sistema silvipastoril nos arranjos (3x2) + 20m (a), (2x2) + 9m e 9x2m (b)

As amostras foram secas a sombra e posteriormente encaminhadas ao Laboratório de Análises de Solos da Universidade Federal de Viçosa, onde procederam-se as análises conforme Embrapa (1997). Realizou-se a determinação da acidez ativa pelo pH em água (relação 1:2,5), análises de fósforo (P) disponível e potássio (K) trocável por extração com solução duplo-ácido (Mehlich-1) e leitura em espectrofotômetro. Os teores de cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) disponíveis, Ca+Mg disponíveis e alumínio (Al) trocável, foram feitas por extração com cloreto de potássio ($\text{KCl } 1\text{mol}^{-1}$); enxofre (S- SO_4) pelo extrator KCl e leitura em espectrofotômetro de absorção atômica; acidez potencial (H+ Al) pelo uso do extrator SMP; teor de matéria orgânica (MO), pelo método de Walkey Black e leitura em colorimétrico. A determinação dos teores de carbono orgânico do solo foi realizada via combustão seca. Para determinação dos estoques de carbono, em Mg ha^{-1} , em cada camada de solo, utilizou-se a seguinte equação:

Estoque $\mu = d \cdot \mu \cdot e$; onde;

Estoque μ = estoque de C no solo (Mg ha^{-1});

d = densidade aparente do solo na camada estudada (g cm^{-3});

μ = teor de C no solo (%); e

e = espessura da camada de solo estudada (cm).

Visando a quantificação do carbono estocado no solo, efetuou-se amostragens indeformadas em cada arranjo, nas profundidades de 0-20 e 20-40. A amostragem foi efetuada em dezembro de 2015. No laboratório, os anéis com o solo foram levados para estufa, a 105°C e por aproximadamente 24 horas. Decorrido esse período, as amostras foram pesadas e posteriormente quantificou-se a densidade do solo, via expressão (EMBRAPA, 1997):

$$D_s = M_s / V_t$$

Onde: D_s = Densidade do solo (g cm^{-3});

M_s = massa da amostra de solo seca a 105°C (g);

V_t = volume do anel (cm^3).

Para o cálculo do carbono total armazenado considerou-se a densidade média obtida para as respectivas camadas ($1,045 \text{ g cm}^{-3}$ para a camada de 0-20cm e $1,130 \text{ g cm}^{-3}$ para 20-40cm) para todos os arranjos espaciais. Esses mesmos valores foram utilizados para a quantificação do estoque de carbono para o ano de 2011.

As amostragens da liteira foram realizadas nos meses de junho de 2014 e junho de 2016. No sistema integrado a amostragem foi conduzida no centro da parcela e sob a copa das arbóreas (figura 1). A liteira dentro da área delimitada pelo quadro metálico foi coletada, pesada e encaminhada ao laboratório para determinação da matéria seca.

4.3.4 Análise estatística

Os dados foram submetidos aos testes de Lilliefors e Bartlett para verificação de distribuição da normalidade e homocedasticidade, respectivamente. Para efeito de comparação das respostas utilizou-se o delineamento em blocos ao acaso em arranjo de parcelas sub-subdivididas conforme modelo estatístico:

$$Y_{ijkm} = \mu + B_m + A_i + l_{im} + S_j + (AS)_{ij} + \alpha_{ijk} + C_k + (AC)_{ik} + (SC)_{jk} + (ASC)_{ijk} + \gamma_{ijkm}, \text{ em que:}$$

Y_{ijkm} = observação do arranjo i, no cultivar j, do ano agrícola k, no bloco m,

μ = efeito médio geral,

B_m = efeito do bloco m, sendo $m = 1, 2 \text{ e } 3$;

A_i = efeito do arranjo i, sendo $i = (3 \times 2) + 20 \text{ m}, (2 \times 2) + 9 \text{ m} \text{ e } 9 \times 2 \text{ m}$;

l_{im} = efeito do erro aleatório atribuído à parcela do arranjo i no bloco m;

S_j = sítio de coleta j, sendo $j = \text{centro da parcela e sob copa da arbórea}$;

$(AS)_{ij}$ = efeito da interação arranjo e sítio de coleta;

α_{ijm} = erro aleatório atribuído à sub-parcela do arranjo i, do sítio de coleta, j do bloco m;

C_k = efeito do ano k , sendo $k = 2011$ e 2015 (solo) e 2014 e 2016 (liteira);

$(AC)_{ik}$ = efeito da interação arranjo e ano;

$(SC)_{jk}$ = efeito da interação sítio de coleta e ano;

$(ASE)_{ijk}$ = efeito da interação entre arranjo, sítio de coleta e ano;

γ_{ijkm} = erro aleatório atribuído à sub-subparcela do arranjo i , no sítio de coleta j , ano K do bloco m .

Para avaliar o efeito da profundidade nos parâmetros químicos do solo considerou-se o modelo em parcela sub-subdividida, com o arranjo na parcela, profundidade (0 - 20cm e 20 - 40cm) na subparcela e ano na sub-subparcela.

Para comparação entre as médias dos tratamentos no sistema silvipastoril foi utilizado o teste Student-Newman-Keuls (SNK) a 5% de probabilidade de erro para rejeição da hipótese de nulidade.

4.4 Resultados

A distribuição de biomassa de liteira não diferiu entre os arranjos ($p=0,8882$) e entre os sítios de amostragem ($p=0,1418$). Constatou-se interação entre ano e local amostrado na parcela ($p=0,01$) (Figura 1). Independente do local de coleta, houve incremento na massa de material coletado entre 2014 e 2016.

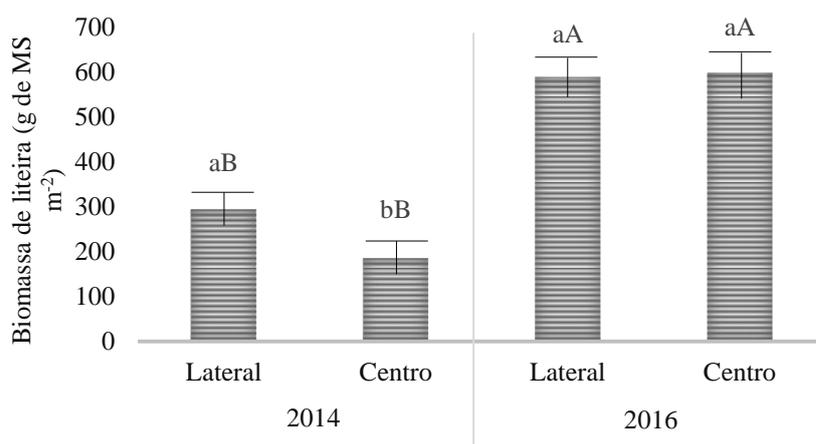


Figura 2 – Biomassa de liteira (g de matéria seca.m⁻²) em sistema silvipastoril sob a copa do eucalipto (lateral) e no centro da parcela, nos anos de 2014 e 2016.

Letras minúsculas comparam o local de coleta dentro do mesmo ano e maiúsculas, o ano dentro do mesmo sítio pelo teste SNK ($p<0,05$)

O arranjo espacial do sistema silvipastoril demonstrou efeito apenas sobre os teores de Cálcio ($p<0,05$). Maiores médias foram observadas nos tratamentos com menor espaçamento

entre os renques (Tabela 1). A capacidade de troca catiônica efetiva e a soma de bases apresentaram comportamento semelhantes, com menores valores no arranjo de (3x2) + 20m. A matéria orgânica do solo (MOS) na camada de 0-40cm apresentou média de 3,84 dag kg⁻¹ e não diferiu entre os arranjos.

Tabela 1 - Composição química média do solo na camada de 0-40cm em sistema silvipastoril de *Urochloa decumbens* e *Eucalyptus* spp. sob diferentes arranjos espaciais

Variável		Arranjo			EPM	p
		(3x2) + 20m	(2x2) + 9m	9x2m		
PH H ₂ O		5.05	5.09	5.30	0.07 ²	0.1184 ³
CTC efetiva	cmol/dm ³	3.12 b ¹	3.63 a	3.78 a	0.10	0.0208
CTC a pH 7	cmol/dm ³	10.89	11.16	10.62	0.58	0.8087
H + Al	cmol/dm ³	8.64	8.30	7.35	0.68	0.4523
Cálcio	cmol/dm ³	1.66 b	2.20 a	2.42 a	0.13	0.0339
Magnésio	cmol/dm ³	0.47	0.54	0.68	0.06	0.1707
Alumínio	cmol/dm ³	0.87	0.76	0.52	0.16	0.2997
Soma de bases	cmol/dm ³	2.25 b	2.87 ab	3.26 a	0.16	0.0445
Fósforo	mg/dm ³	4.09	4.44	4.18	0.29	0.7312
Potássio	mg/dm ³	50.63	49.67	58.76	6,39	0.5225
Saturação por alumínio	%	31.95	24.81	18.38	4.60	0.2292
Saturação de bases	%	21.87	26.91	31.41	2.76	0.1601
Matéria orgânica	dag/kg	3.83	3.93	3.75	0.11	0.5590
Carbono	dag/kg	2.22	2.27	2.17	0.06	0.5631
Carbono total	ton/ha	96,19	98,44	93,99	2.77	0.5642

¹Médias seguidas por letras distintas na linha diferem pelo teste SNK (p<0,05); ²Erro padrão da média; ³Erro tipo 1; n=12

O sítio de coleta na parcela demonstrou pouco efeito sobre os atributos químicos do solo (Tabela 2). Apenas o teor de fósforo apresentou efeito dessa variável. Também não se constatou interação dessa com o ano de coleta e arranjo espacial (p>0.05).

Tabela 2 - Composição química média do solo na camada de 0-40cm em sistema silvipastoril de *Urochloa decumbens* e *Eucalyptus* spp. em função do local de amostragem

Variável		Local na parcela		EPM	p
		Centro	Sob arbóreas		
PH H ₂ O		5.15	5.14	0.03 ²	0.8116 ³
CTC efetiva	cmol/dm ³	3.49	3.52	0.08	0.7497
CTC a pH 7	cmol/dm ³	10.91	10.87	0.10	0.8264
H + Al	cmol/dm ³	8.12	8.08	0.19	0.8852
Cálcio	cmol/dm ³	2.10	2.09	0.11	0.9225
Magnésio	cmol/dm ³	0.55	0.58	0.02	0.3896
Alumínio	cmol/dm ³	0.71	0.72	0.05	0.8048
Soma de bases	cmol/dm ³	2.79	2.80	0.14	0.9539
Fósforo	mg/dm ³	4.57 a ¹	3.90 b	0.17	0.0281
Potássio	mg/dm ³	52.00	54.03	3.62	0.7968
Saturação Alumínio	%	24.90	25.19	1.95	0.8684

Saturação de bases	%	26.62	26.83	1.33	0.9151
Matéria orgânica	dag/kg	3.80	3.87	0.07	0.5300
Carbono	dag/kg	2.20	2.24	0.04	0.5137
Carbono total	ton/ha	97,02	95,39	1.71	0.5202

¹Médias seguidas por letras distintas na linha diferem pelo teste SNK ($p < 0,05$); ²Erro padrão da média; ³ Erro tipo 1; n=18

O estoque de carbono orgânico do solo (COS), assim como observado para arranjo espacial, não apresentou variação significativa em função do sítio de coleta. O estoque de COS, na camada de 0-40cm contabilizou 96,2 ton ha⁻¹. Com relação ao ano de avaliação, foram constatados incrementos nos teores de cálcio e de hidrogênio + alumínio trocáveis, na acidez do solo, na MOS e no COS (Tabela 3). A saturação de bases apresentou redução significativa no período avaliado ($p < 0,05$).

Tabela 3 - Composição química média do solo na camada de 0-40cm em sistema silvipastoril de *Urochloa decumbens* e *Eucalyptus* spp. nos anos de 2011 e 2015

Variável		Ano		EPM	p
		2011	2015		
PH H ₂ O		5.61 a ¹	4.68 b	0.03 ²	0.0001 ³
H + Al	cmol/dm ³	5.42 b	10.77 a	0.11	0.0001
Cálcio	cmol/dm ³	1.82 b	2.36 a	0.09	0.0349
Alumínio	cmol/dm ³	0.77	0.66	0.04	0.1263
Magnésio	cmol/dm ³	0.54	0.59	0.03	0.6022
Soma de bases	cmol/dm ³	2.47	3.11	0.13	0.0594
Fósforo	mg/dm ³	4.05	4.42	0.23	0.5204
Potássio	mg/dm ³	46.81	59.23	4.85	0.2793
Saturação Alumínio	%	26.15	23.96	0.25	0.2435
Saturação de bases	%	31.43 a	22.03 b	0.15	0.0006
Matéria orgânica	dag/kg	3.21 b	4.47 a	0.11	0.0001
Carbono	dag/kg	1.86 b	2.58 a	0.06	0.0001
Carbono Total	ton/há	80,67 b	111,75 a	2.51	0.0001

¹Médias seguidas por letras distintas na linha diferem pelo teste SNK ($p < 0,05$); ²Erro padrão da média; ³ Erro tipo 1; n=18

A profundidade amostrada demonstrou efeito sobre todos os parâmetros avaliados no solo (Tabela 4). Todos os minerais apresentaram redução nas médias entre a camada 0-20cm e 20- 40cm. Em contrapartida, constataram-se incrementos nas variáveis associadas a acidez do solo.

Tabela 4 - Composição química do solo em sistema silvipastoril de *Urochloa decumbens* e *Eucalyptus* spp. nos anos de 2011 e 2015 nas profundidades de 0 -20cm e 20 a 40cm

Variável		Profundidade		EPM	p
		0 – 20cm	20 – 40cm		
PH H ₂ O		5.33 a ¹	4.96 b	0.04 ²	0.0003 ³
H + Al	cmol/dm ³	7.54 b	8.65 a	0.16	0.0030
Cálcio	cmol/dm ³	2.85 a	1.34 b	0.11	0.0001
Magnésio	cmol/dm ³	0.75 a	0.37 b	0.04	0.0002
Alumínio	cmol/dm ³	0.43 b	1.00 a	0.03	0.0001
Soma de bases	cmol/dm ³	3.79 a	1.80 b	0.16	0.0001
Fósforo	mg/dm ³	5.70 a	2.76 b	0.24	0.0001
Potássio	mg/dm ³	70.69 b	35.34 a	5.09	0.0016
Saturação Alumínio	%	12.28 b	37.81 a	1,86	0.0001
Saturação de bases	%	34.93 a	18.53 b	1.05	0.0006
Matéria orgânica	dag/kg	4.22 a	3.46 b	0.03	0.0001
Carbono	dag/kg	2.44 a	2.00 b	0.02	0.0001
Carbono Total	ton/ha	55,87 a	40.34 b	1.35	0.0001

¹Médias seguidas por letras distintas na linha diferem pelo teste SNK (p<0,05); ²Erro padrão da média; ³ Erro tipo 1; n=18

A CTC efetiva e potencial demonstrou interação entre ano e profundidade amostrada, porém em diferentes magnitudes. Para a primeira verificou-se médias semelhantes na camada de 20 - 40cm nos dois períodos. No caso da segunda, independente da profundidade, houve aumento nos valores ao longo do estudo.

Tabela 5 - Capacidade de troca catiônica (CTC) efetiva e potencial (a pH 7) no solo em sistema silvipastoril de *Urochloa decumbens* e *Eucalyptus* spp. nos anos de 2011 e 2015 nas profundidades de 0 -20cm e 20 a 40cm

	Ano	Profundidade		EPM	p
		0 – 20cm	20 – 40cm		
CTC efetiva (cmol/dm ³)	2011	3.73 aB ¹	2.77 bA	0.20 ²	0.0351 ³
	2015	4.72 aA	2.82 bA		
CTC a pH 7 (cmol/dm ³)	2011	8.12 aB	7.67 aB	0.16	0.0192
	2015	14.54 aA	13.23 bA		

¹Médias seguidas por letras distintas, minúsculas na linha maiúsculas na coluna diferem pelo teste SNK (p<0,05); ²Erro padrão da média; ³ Erro tipo 1; n=9

4.5 Discussão

A biomassa de liteira apresentou incremento entre os períodos avaliados (Figura 2). Esse comportamento pode ser explicado em função do aumento da estrutura aérea das arbóreas e conseqüentemente, na deposição de material senescente. A média obtida no centro das parcelas no SSP, para o ano de 2014, foi 36,9% inferior à observada na lateral (sob a arbórea) para o mesmo período. Essa diferença pode ser atribuída à menor estrutura do eucalipto que por sua vez propiciou distribuição heterogênea ao longo dos arranjos. O crescimento do eucalipto e o adensamento gradual das copas possibilitaram a dispersão mais homogênea da liteira e assim, a diferença entre os sítios amostrados não foi observada no ano de 2016.

A quantidade de nutrientes disponibilizados no solo via deposição da liteira está relacionada à dinâmica de decomposição do material. Essa é variável em função da composição do resíduo vegetal, da umidade do solo, da temperatura e da qualidade do sítio (Skorupa et al., 2015). Desse modo, a maior biomassa na última avaliação pode estar associada também à baixa degradação desse material, uma vez que o incremento foi superior a 100%.

Em relação aos arranjos espaciais, embora o sistema com (3x2) + 20m apresente menor densidade de arbóreas, não houve diferença quanto ao acúmulo de liteira. O volume médio no SSP foi de 416,4g de MS m⁻². Conforme Ferreira et al., (2001) a quantidade de liteira depositada tem estreita correlação com a biomassa vegetal do agroecossistema. No presente estudo não foi efetuado a estimativa da biomassa do eucalipto, no entanto, em decorrência da maior população de arbóreas, maior volume de resíduo vegetal provavelmente deveria ocorrer para o arranjo (2x2) + 9m. O acúmulo de liteira no sub-bosque de SSP tem sido associado positivamente com atividade biológica do solo (Rillig et al., 2002) e a taxa de mineralização dos nutrientes (Pezzoni et al., 2012). Nesse contexto, Bernadino e Garcia (2012) apontam como maior benefício da adição regular de cobertura morta pelas arbóreas, o aumento da dinâmica da matéria orgânica do solo e a disponibilização de nutrientes.

Os teores de minerais obtidos no solo para a camada de 0-40cm demonstraram pouco efeito dos arranjos e densidades populacionais de arbóreas. A ausência desse efeito pode ser atribuída ao fato da deposição de matéria orgânica ser também semelhante entre os tratamentos (Tabela 1). Além disso, a área com o SSP foi submetida aos mesmos manejos quanto a aplicação de corretivos de acidez e fertilizantes. A média inferior obtida no tratamento com (3x2) + 20m para SB indica maior extração de bases, essencialmente de cálcio, o qual também se apresentou inferior. Em decorrência da menor densidade de arbóreas

e, conseqüentemente, de sombreamento, maior produtividade da *U. decumbens* e extração de minerais era esperada nesse arranjo.

A capacidade de troca catiônica efetiva se mostrou crescente com o adensamento no silvipastoril. Em sistemas agrícolas, a inclusão de arbóreas promove aumento na taxa de adição de H⁺ (McCauley et al., 2017). Isso ocorre essencialmente quando os ânions dos ácidos adicionados são acumulados em função do aumento da matéria orgânica do solo ou aumento da biomassa vegetal. O pH se apresentou baixo em todos os arranjos, os valores estão próximos dos descritos para o solo do Cerrado brasileiro que é entre 5,0 e 5,9 (Lopes e Guilherme, 1994; Ruggiero et al., 2002; Araújo et al., 2017).

Os teores de Al³⁺ (acidez trocável) e H + Al (acidez potencial) apresentaram-se elevados nos três arranjos espaciais. O alumínio compete com o K, Ca²⁺, S e Mg²⁺ pelos mesmos sítios químicos nas partículas do solo, e conseqüentemente, pode acarretar a lixiviação desses minerais (McCauley et al., 2017). A acidez potencial para a camada de 0-40cm no SSP foi próxima à observada antes da correção da acidez que era de 7,5 cmol dm⁻³. A saturação por alumínio se apresentou superior à 30% no arranjo de (3x2) + 20m, descrito como valor máximo tolerado para o eucalipto e *U. decumbens* (Lopes e Guilherme, 1994). Os mesmos autores sugerem uma saturação por bases de no mínimo 40% para manutenção de produtividade satisfatória para ambas culturas.

Embora tenha se constatado distribuição heterogênea na coleta de liteira no ano de 2014, os parâmetros químicos do solo se mostraram semelhantes nos dois sítios de coleta, exceto para o fósforo (Tabela 2). Existe estreita correlação entre quantidade e qualidade da liteira e disponibilidade de nutrientes no solo. O resíduo vegetal constitui importante fonte de nitrogênio, cálcio, potássio, magnésio e fósforo (Vital et al., 2004). Em estudo conduzido por Casals et al., (2014) avaliaram-se parâmetros químicos do solo em SSP de *U. brizantha* e arbóreas nativas (*Albizia saman*; *Enterolobium cyclocarpum*; *Tabebuia rosea*; *Guazuma ulmifolia*). Independente da espécie, maiores teores de C, P, Ca²⁺ e Mg²⁺ foram obtidos no solo sob as copas das arbóreas. O resultado quanto ao fósforo apresentou comportamento diferente do descrito por esses autores uma vez que o teor foi superior no centro das parcelas em comparação ao solo sob a copa do eucalipto. Esse resultado pode ser atribuído à maior extração do elemento pela arbórea.

A redução no pH do solo entre os anos de 2011 e 2015 decorre da adição de íons de hidrogênio ao solo no SSP. Ao longo do período a acidez potencial apresentou incremento de 5,42 para 10,77 cmol dm⁻³ (Tabela 3). Embora a correção de acidez do solo tenha sido

efetuada, esta foi conduzida apenas na ocasião da implantação do silvipastoril. As avaliações dos parâmetros químicos do solo foram conduzidas no terceiro e sétimo ano, portanto sem nenhuma intervenção visando o aumento do pH nesse período.

Os níveis de magnésio e potássio no solo para a camada de 0-40cm se mantiveram estáveis no período avaliado. Apesar do incremento nos níveis de cálcio, de 1,82 para 2,36 cmol dm^{-3} , a soma de bases apresentou médias semelhantes nos dois anos (Tabela 3). A saturação de bases por outro lado, em função do aumento na acidez potencial, apresentou redução. Embora os teores de Mg^{2+} e Ca^{2+} se apresentem como médio e bom, conforme classificação proposta por Ribeiro et al., (1998), a soma de base encontra-se abaixo do indicado para o eucalipto e para a forrageira.

A profundidade apresentou efeito sobre todos os parâmetros avaliados no solo no SSP (Tabela 4). A maioria dos minerais apresentaram tendência de diminuição em profundidade. Redução nos teores de minerais em função da profundidade foi descrito em Latossolos com Cerrado, sob cultivo agrícola convencional e plantio direto (Fontana et al., 2016) e com floresta de eucalipto (Santos et al., 2016). Redução no pH em função da profundidade foi observada por Ferreiro-Domínguez et al., (2016) em SSP com arbóreas *Prunus avium* L. oito anos após o estabelecimento do sistema.

A CTC efetiva demonstrou valores semelhantes entre os anos de 2011 e 2015 para a profundidade de 20-40cm (Tabela 5). Embora tenha sido relatado alto teor de Al^{3+} , a SB se apresentou baixa nessa camada, desse modo esse parâmetro se manteve estável. Por outro lado, o aumento observado na camada superficial está associado ao incremento na SB, principalmente em relação ao teor de Ca^{2+} . O incremento na CTC potencial nas duas profundidades por outro lado se justifica pela maior concentração de H^+ , uma vez que houve redução do pH no intervalo analisado.

O teor de carbono se apresentou semelhante entre os arranjos e sítios avaliados. Alguns autores relatam que os teores e a distribuição espacial do estoque de CO na camada superficial (0- 20cm) não é explicada pela distância das árvores, mas pelo desenho do sistema agrofloresta (Upson and Burgess, 2013). Cardinael et al., (2015) mensuraram o carbono no solo em SSP com 18 anos de estabelecimento, e constataram valores similares a até 10 m da linha do renque. Entretanto, em ambos trabalhos os autores verificaram maiores teores no interior do renque (entre as linhas duplas de arbóreas) em relação espaço entre os renques. Esse comportamento é atribuído ao fato dos espaços entre as linhas das árvores ou próxima a elas (0,5m) geralmente estarem cobertos por vegetação herbácea natural e geralmente não ser

cultivados ou revolvidos, o que reduz a degradação da matéria orgânica (Virto et al., 2012). Nesse estudo não foi avaliado os parâmetros do solo no interior dos renques com as linhas duplas de eucalipto. Ressalta-se que não houve revolvimento do solo após a implantação da *U. decumbens*. Desse modo, o solo sob as arbóreas e no centro da parcela apresentaram manejo similar o que contribui para a ausência de diferença entre esses dois sítios.

Entre 2011 e 2015 o COS teve incremento de 38,6%. De modo semelhante, houve incremento na matéria orgânica no solo no perfil de 0-40cm, o qual se atribui ao maior aporte e estrutura aérea do eucalipto e, conseqüentemente, maior aporte de liteira. O teor de CO apresentou redução de 18,0% entre as profundidades de 0-20 e 20-40cm. Redução nos teores de C com a profundidade tem sido descrito na literatura (Virto et al., 2011; Sacramento et al., 2013; Cardinael et al., 2015). Isso se atribuí a constante deposição e decomposição da liteira na superfície do solo.

O COS observado para a camada de 0-40cm foram superiores ao descritos por Sacramento et al., (2013). Os autores verificaram estoques de 97,6 ton ha⁻¹ em SSP na região da Caatinga com densidade de 260 árvores ha⁻¹ e com 14 anos de implantação. A média superior obtida no presente estudo se explica pela maior população de arbóreas. Por outro lado, maiores médias foram relatadas por Tonucci et al., (2011) em SSP de *Eucalyptus* spp. (10x4m e 250 árvores ha⁻¹) e *Urochloa brizantha* na região do Cerrado, 15 anos após a implantação. O teor verificado para o mesmo perfil do solo contabilizou 183,8 ton ha⁻¹. Embora inferior, no presente trabalho o incremento absoluto na COS foi de 31,1 ton ha⁻¹ entre o terceiro e o sétimo ano de implantação do SSP.

4.6 Conclusão

A biomassa de liteira depositada no solo do sistema silvipastoril de *Urochloa decumbens* e *Eucalyptus* spp. apresenta pouca variabilidade em função dos arranjos arbóreas avaliados.

A composição mineral e a matéria orgânica, na camada de 0-40cm, demonstram pouca variabilidade quanto aos sítios avaliados e entre os arranjos (3x2) + 20m, (2x2) + 9m e 9x2m. Incrementos graduais na matéria orgânica, carbono orgânico, acidez potencial e na CTC ocorrem com o avançar dos anos de implantação do sistema.

Os parâmetros químicos na camada superficial (0-20cm) se mostram mais próximos do recomendado para o *Eucalyptus* spp. e *U. decumbens*. Com relação à profundidade de 20-40cm, ocorre redução nos teores médios para a maioria dos minerais e frações avaliadas.

O incremento de 38,7% no estoque de carbono no solo entre o terceiro e sétimo ano do sistema apontam o silvipastoril como potencial mitigador de gases do efeito estufa.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos funcionários e professores da UFMG e da EPAMIG Campo Experimental de Santa Rita, pelo apoio.

4.7 Referências

ARAÚJO, A.S.F.; MAGALHÃES, L.B.; SANTOS, V.M. et al. Biological properties of disturbed and undisturbed Cerrado sensu stricto from Northeast Brazil. *Braz. J. Biol.*, v.77, n.1, p.16-21, 2017.

BERNARDINO, F.S.; GARCIA, R. Sistemas silvipastoris. *Pesq. Flor. Bras.*, n.60, p.77-87, 2009.

BRASIL. Decreto 7.390. *Diário Oficial da União*, 9 de dezembro de 2010, Brasília, 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Decreto/D7390.htm>. Acesso em: 20 dez. 2016.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura: plano ABC*. Brasília: MAPA/ACS, 2012. 173 p.

BUSSI, G.; JANES, V.; B, WHITEHEAD P.G. et al. Dynamic response of land use and river nutrient concentration to long-term climatic changes. *Science of the Total Environment*, v.590-591, p.818-831, 2017.

CARDINAEL, R.; CHEVALLIER, T.; BARTHÈS, B.G. et al. Impact of alley cropping agroforestry on stocks, forms and spatial distribution of soil organic carbon — A case study in a Mediterranean context. *Geoderma*, v.259-260, p.288-299, 2015.

CASALS, P.; ROMERO, J.; RUSCH, G.M.; IBRAHIM, M. Soil organic C and nutrient contents under trees with different functional characteristics in seasonally dry tropical silvopastures. *Plant Soil*, v.374, n.1-2, p.643-659, 2014.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 3.ed. Brasília, 2013. 353p.

FERREIRA, C.A.; SILVA, H.D.; REISSMANN, C.B. et al. *Nutrição de Pinus no Sul do Brasil: diagnóstico e prioridades da pesquisa*. Colombo: Embrapa Florestas, 2001, 23p.

FERREIRO-DOMÍNGUEZ, A.; RIGUEIRO-RODRÍGUEZ, A.; RIAL-LOVERA, K.E. et al. Effect of grazing on carbon sequestration and tree growth that is developed in a silvopastoral system under wild cherry (*Prunus avium* L.). *Catena*, v.142, p.11-20, 2016.

FONTANA, A.; TEIXEIRA, W.G.; BALIEIRO, F.C. et al. Características e atributos de Latossolos sob diferentes usos na região Oeste do Estado da Bahia. *Pesq. Agropec. Bras.*, v.51, n.9, p.1457-1465, 2016.

IPCC. Summary for Policymakers. In.: EDENHOFER, O.; R. PICHS-MADRUGA, Y.; SOKONA, E. et al. (eds.). *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2014. p.1-30.

IWATA, B.F.; LEITE, L.F.C.; ARAÚJO, A.S.F. et al. Sistemas agroflorestais e seus efeitos sobre os atributos químicos em Argissolo Vermelho-Amarelo do Cerrado piauiense. *Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient*, v.16, n.2, p.730-738, 2012.

LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G. *Solos sob cerrado: manejo da fertilidade para a produção*. São Paulo: ANDA, 1994. 62p.

MCCAULEY, A; JONES, C.; OLSON-RUTZ, K. *Soil pH and Organic Matter*. Montana: Nutrient Management, n.8, 2017. 16p.

MEHDI, B.; LEHNER, B.; GOMBAULT, C. et al. Simulated impacts of climate change and agricultural land use change on surface water quality with and without adaptation management strategies. *Agric. Ecosyst. Environ.*, v.213, p.47-60, 2015.

PEZZONI, T.; VITORINO, A.C.T.; DANIEL, O.; LEMPP, B. Influência de *Pterodon emarginatus* Vogel sobre atributos físicos e químicos do solo e valor nutritivo de *Brachiaria decumbens* Stapf em sistema silvipastoril. *Cerne*, Lavras, v.18, n.2, p.293-301, 2012.

RIBEIRO, A.C.; GUIMARAES, P.T.G.; ALVAREZ, V.H. *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª Aproximação*. Viçosa, MG, 1999. 359p.

RUGGIERO, P.G.C.; BATALHA, M.A.; PIVELLO, V.R.; MEIRELLES, S.T. Soil-vegetation relationships in cerrado (Brazilian savanna) and semideciduous forest, Southeastern Brazil. *Plant Ecol.*, v.160, n.1, p.1-16, 2002.

RILLIG, M.C.; WRIGHT, S.F.; EVINER, V.T. The role of arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin in soil aggregation: comparing effects of five plant species. *Plant Soil*, v. 238, n.2, p.325-333, 2002.

SACRAMENTO, J.A.A.S.; ARAÚJO, A.C.M.; ESCOBAR, M.E.O. et al. Soil carbon and nitrogen stocks in traditional agricultural and agroforestry systems in the semiarid region of Brazil. *R. Bras. Ci. Solo*, v.37; n.3, p.784-795, 2013.

SANTOS, O.F.; SOUZA, H.M.; OLIVEIRA, M.P. et al. Propriedades químicas de um Latossolo sob diferentes sistemas de manejo. *Revista de Agricultura Neotropical*, v.4, n.1, p. 36-42, 2017.

SKORUPA, A.L.A.; BARROS, N.F.; NEVE, J.C.L. Forest litter decomposition as affected by eucalyptus stand age and topography in south-eastern Brazil. *Revista Árvore*, v.39, n.6, p.1055-1064, 2015.

TONUCCI, R.G.; NAIR, P.K.R.; NAIR, V.D. et al. Soil carbon storage in silvopasture and related land-use systems in the Brazilian Cerrado. *J Environ Qual.*, v.40, n.3, p.833-841, 2011.

STERLING, S.M.; DUCHARNE, A.; POLCHER J. The impact of global land-cover changes on the terrestrial water cycle. *Nat. Clim. Chang.*, v.3 p.385-390, 2013.

UPSON, M.A.; BURGESS, P.J. Soil organic carbon and root distribution in a temperate arable agroforestry system. *Plant and Soil*, v.373, n.1-2, p.43-58, 2013.

VIRTO, I.; BARRÉ, P.; BURLOT, A.; CHENU, C. Carbon input differences as the main factor explaining the variability in soil organic C storage in no-tilled compared to inversion tilled agrosystems. *Biogeochemistry*, v.108, n.1-3, p.17-26, 2012.

VITAL, A. R. T.; GUERRINI, I. A.; FRANKEN, W. K.; FONSECA, R. C. B. Produção de serapilheira e ciclagem de nutrientes de uma Floresta Estacional Semidecidual em zona ripária. *Revista Árvore*, v.28, n.6, p.793-800, 2004.

ZHANG, Y.; XIAO, Q.; HUANG, M. Temporal stability analysis identifies soil water relations under different land use types in an oasis agroforestry ecosystem. *Geoderma*, v.271, p.150-160, 2016.

CAPÍTULO 5 - RADIAÇÃO FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA NO SUB-BOSQUE E ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR DE *Urochloa decumbens* EM SISTEMA SILVIPASTORIL COM DIFERENTES ARRANJOS E CULTIVARES DE EUCALIPTO

5.1 Resumo

Objetivou-se quantificar a radiação fotossinteticamente ativa e a intensidade do sombreamento em sistema silvipastoril com cultivares de *Eucalyptus* GG100, I144 e VM58 sob arranjos espaciais (3x2) + 20m, (2x2) +9m e 9x2m. O experimento foi conduzido em delineamento em bloco ao acaso em arranjo em split-split-plot. A radiação fotossinteticamente ativa (RFA) foi superior no arranjo de (3x2) + 20m, porém, apenas durante as estações de primavera e verão. Também se verificou efeito do local de amostragem apenas nesse arranjo, com maior intensidade de sombreamento sob a copa das arbóreas em relação ao centro das parcelas. Quanto aos cultivares utilizados, a integração com o eucalipto I144 resultou em maior interceptação luminosa pela arbórea e menor índice de área foliar (IAF) na *Urochloa decumbens*. Essa variável foi afetada negativamente pelo sombreamento com valores superiores obtidos nas pastagens em monocultivo independente da adoção ou não da correção de acidez e de fertilidade. O sistema silvipastoril apresentou produtividade inferior as pastagens em monocultivo nos três arranjos espaciais avaliados. A altura do dossel não variou em função da intensidade de sombreamento e RFA incidente.

Palavras chave: forragem; interceptação luminosa; produtividade; sistemas agroflorestais; sombreamento.

5.2 Introdução

A degradação de pastagens constitui grande desafio para produção animal em todo o planeta. Esse fator compromete a produtividade de forragem e repercute em baixo desempenho produtivo da pecuária, sobretudo em países subdesenvolvidos. O Brasil apresenta o segundo maior rebanho bovino do planeta, contabilizado em 226 milhões de cabeças no ano de 2017 (USDA, 2017). A maior parte da pecuária do país tem como base alimentar as pastagens (Galdino et al., 2016). Assim, esse ecossistema exerce impactos diretos no desempenho produtivo do setor.

Os sistemas silvipastoris são considerados alternativa viável na recuperação de pastagens degradadas. A inclusão do componente arbóreo representa uma fonte adicional de renda e contribui assim para reduzir os custos com a renovação ou reforma dessas (Bono et al., 2013). Desse modo, a integração da pecuária e floresta permite maior sustentabilidade do sistema de produção, por meio de ganhos de ordem econômica e ambiental. No entanto, para ser viável, faz-se necessário conciliar a produtividade dos componentes, e assegurar que a composição nutricional da forragem não seja comprometida de modo a promover impactos negativos no desempenho animal.

A disponibilidade de luminosidade é um importante fator limitante na produtividade de pastagens em sistemas silvipastoris (Paciullo et al., 2014). A radiação fotossinteticamente ativa incidente sobre o dossel forrageiro no SSP exerce papel crucial no desempenho da forrageira. A interceptação da luminosidade pela copa das arbóreas pode atuar como fator limitante. Nesse contexto, a escolha dos componentes e a distribuição espacial constitui importante etapa para o sucesso do sistema produtivo.

O índice de área foliar (IAF) apresenta relação direta com a produtividade primária da forragem. Essa variável tem sido utilizada como indicador do desempenho da forragem sob diferentes ambientes, sobretudo em condições de sombreamento variáveis. O objetivo desse estudo foi avaliar o índice de área foliar (IAF) em *Urochloa decumbens* e a radiação fotossinteticamente ativa incidente no sub-bosque em sistema silvipastoril com diferentes cultivares de eucalipto e arranjos espaciais.

5.3 Material e métodos

5.3.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido no Campo Experimental Santa Rita pertencente à Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (Epamig). A unidade localiza-se no município de Prudente de Moraes, Estado de Minas Gerais, Brasil, nas coordenadas de latitude 19°27'15'' Sul e Longitude 44°09'11'' Oeste e altitude de 732m.

O clima da região é do tipo AW conforme classificação de Köppen, com estação seca, de maio a outubro e chuvosa, de novembro a abril. Os dados de precipitação e temperatura média, mínima e máxima e histórico do clima dos últimos 30 anos estão descritos na Figura 1.

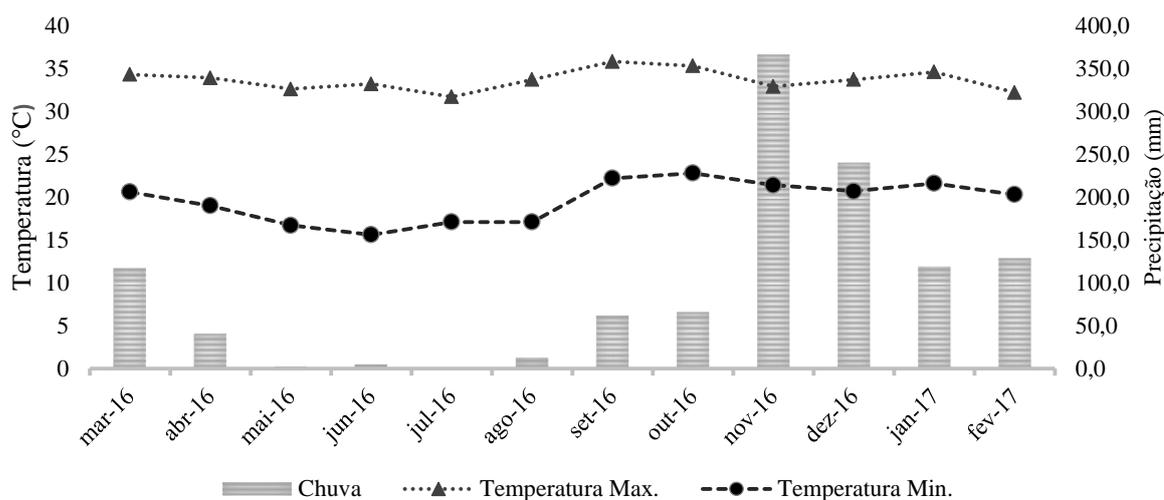


Figura 1 – Precipitação pluviométrica, temperatura máxima, mínima e média mensais ao longo o período experimental

5.3.2 Histórico da área experimental

A área de 10 ha foi implantada em 2008 como estratégia de recuperação de uma pastagem de *Urochloa decumbens* degradada, utilizando o sistema de integração lavoura-pecuária-floresta. No ano da implantação foi efetuada a dessecação de toda a cobertura vegetal, mediante o uso de herbicida, e a aplicação de duas toneladas hectare⁻¹ de calcário dolomítico para correção da acidez. Na ocasião do plantio realizou-se a gradagem do solo e a subsolagem nas linhas de plantio do eucalipto, com aplicação de 400 kg ha⁻¹ de fosfato natural reativo.

Nos três primeiros ciclos agrícolas, referentes aos anos 2009/2010; 2010/2011 e 2011/2012 foram cultivados milho (*Zea mays*) consorciado com *Urochloa decumbens* cv. Basilisk (syn. *Brachiaria decumbens*) nas faixas entre os renques de *Eucalyptus* spp. A implantação do consórcio foi efetuada na área entre os renques, respeitando uma distância mínima de 1,5 m da linha de eucalipto.

A adubação de manutenção das pastagens no SSP foi de 100 kg de N, 40 kg de K₂O e 50 kg de P₂O₅ ha⁻¹ ano⁻¹. A aplicação dos fertilizantes foi realizada em dezembro de 2016. A dose de N foi dividida em duas aplicações, sendo a segunda realizada em janeiro de 2017. Todas as aplicações de corretivos e fertilizantes foram realizadas conforme recomendações descritas por Ribeiro et al., (1999). As arbóreas foram submetidas a desramas em setembro de 2009 e em março de 2010.

5.3.3 Descrição dos tratamentos

Na ocasião de coleta de dados o sistema caracterizava-se como silvipastoril (SSP) composto pelo eucalipto disposto em dois arranjos de linha dupla de $(3 \times 2) + 20$ m (434 árvores ha^{-1}) e $(2 \times 2) + 9$ m (909 árvores ha^{-1}) e um em linha simples de 9×2 m (556 árvores ha^{-1}). Os renques foram estabelecidos no sentido Leste-Oeste. Dentro dos arranjos foram implantadas faixas com os cultivares GG100, I144 (*E. grandis* x *E. urophylla*) e VM 58 (*E. grandis* x *E. camaldulensis*).

Em área adjacente ao silvipastoril foram estabelecidas duas pastagens, ambas com área de 1ha. Uma dessas recebeu manejo similar ao utilizado na forragem sob sistema de integração. A segunda denominada de pastagem degradada, a qual não foi submetida à correção de acidez do solo.

5.3.4 Intercepção luminosa e índice de área foliar

As medições de radiação fotossinteticamente ativa incidente (RFAi) ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e índice da área foliar (IAF) foram efetuadas pelo método indireto, utilizando-se do aparelho SunScan Canopy Analysis System Probe type SS1, Delta-T Devices Inc. (Figura 2). As mensurações de RFA foram realizadas nos dias 25/05/2016 (outono), 02/08/2016 (inverno), 25/11/2016 (primavera) e 21/02/2017 (verão). Para condução dessas, certificou-se a ausência de nebulosidade. As mensurações foram efetuadas as 8:00, 11:00 as 13:00 e as 16:00. No SSP as medições foram conduzidas acima do dossel forrageiro sob a copa da arbórea (1m de distância do tronco) e no centro da parcela, a 4,5m da arbórea nos arranjos 9×2 e $2 \times 2 + 9$ e a 10 m, no arranjo $3 \times 2 + 20$. Para cada distância amostrada na parcela foram efetuadas mensurações em três pontos, sendo a média dessas considerada como a repetição.



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 2 – Mensuração da radiação fotossinteticamente ativa via SunScan Canopy Analysis System.

Para quantificar a intensidade do sombreamento no sub-bosque do silvipastoril utilizou-se a equação:

$$\text{Sombreamento (\%)} = (\text{RFAi pleno sol} - \text{RFAi SSP/RFAi pleno sol}) \times 100$$

As mensurações do IAF foram realizadas paralelamente às de RFAi, também sob condição de ausência de nebulosidade as 12:00. Para essa variável não foi efetuada avaliação no período do inverno em função da baixa produtividade da forrageira nesse período. De modo semelhante ao realizado para RFA, as mensurações foram conduzidas sob a copa do eucalipto e no centro da parcela. Para essa variável efetuou-se análises acima (RFAi) e abaixo do dossel forrageiro, sendo essa última referente à RFA transmitida (RFAt). A interceptação de luminosidade pelo dossel forrageiro (IL) foi calculada mediante a equação:

$$\text{IL(\%)} = (\text{RFAi-RFAt})/\text{RFAt} \times 100$$

5.3.5 Coleta de amostras da forragem

Ao mesmo tempo das mensurações do IAF, foi realizada a coleta de amostras da forrageira nos tratamentos SSP e nas pastagens em monocultivo. Na ocasião, mensuraram-se a altura do dossel e a produção de massa verde. A amostragem foi realizada em faixas aleatórias, as quais se estendiam do centro da parcela até a distância de 1m da linha com as

arbóreas. O procedimento foi efetuado de ambos os lados do renque. A repetição de cada variável foi constituída pela média das respectivas faixas. Nas pastagens sob pleno sol, a coleta foi realizada com o auxílio de quadros metálicos de 1m², lançados aleatoriamente, em quatro pontos nos respectivos tratamentos. Nos pontos amostrados a forragem era colhida até a altura de 15cm com o auxílio de cutelos, pesada e encaminhada ao Laboratório de Bromatologia da Epamig, onde quantificou-se a matéria seca.

5.3.6 Análises estatísticas

Os dados de luminosidade e IAF foram submetidos aos testes de Lilliefors e Bartlett para verificação de distribuição da normalidade e homocedasticidade, respectivamente. Para efeito de comparação das respostas dentro do sistema silvipastoril utilizou-se o delineamento em blocos ao acaso com parcela sub-subdivididas conforme modelo estatístico:

$$Y_{ijkm} = \mu + B_m + A_i + l_{im} + S_j + (AS)_{ij} + \alpha_{ijk} + C_k + (AC)_{ik} + (SC)_{jk} + (ASC)_{ijk} + \gamma_{ijkm}, \text{ em que:}$$

Y_{ijkm} = observação do arranjo i, no cultivar j, do ano agrícola k, no bloco m,

μ = efeito médio geral,

B_m = efeito do bloco m, sendo m = 1, 2 e 3;

A_i = efeito do arranjo i, sendo i = (3x2) + 20 m, (2x2) + 9 m e 9x2 m;

l_{im} = efeito do erro aleatório atribuído à parcela do arranjo i no bloco m;

S_j = efeito do cultivar j, sendo j = GG100, I144 e VM58;

$(AS)_{ij}$ = efeito da interação arranjo e cultivar;

α_{ijm} = erro aleatório atribuído à sub-parcela do arranjo i, do cultivar j do bloco m;

C_k = efeito da estação k, sendo k = outono, inverno, primavera e verão;

$(AC)_{ik}$ = efeito da interação arranjo e estação;

$(SC)_{jk}$ = efeito da interação cultivar e estação;

$(ASE)_{ijk}$ = efeito da interação entre arranjo, cultivar e estação;

γ_{ijkm} = erro aleatório atribuído à sub-subparcela do arranjo i, no cultivar j, estação K do bloco m.

Para analisar o efeito do local de amostragem na parcela considerou-se o delineamento em blocos ao acaso em arranjo split-split-plot, sendo na parcela o arranjo, na subparcela o local (sob a arbórea e centro da parcela) e na sub-subparcela a estação do ano.

Para comparação entre as médias dos tratamentos no sistema silvipastoril foi utilizado o teste Student-Newman-Keuls (SNK) a 5% de probabilidade de erro para rejeição da hipótese de nulidade.

Foram realizadas análises por meio de contrastes para os dados de interceptação luminosa pelo dossel forrageiro e índice de área foliar para os arranjos espaciais versus a pastagem adubada e sem adubação (Quadro 2). Para comparação utilizou-se o teste de Fisher ($p < 0,05$)

Quadro 1 - Contrastes ortogonais para comparação entre os arranjos e cultivares e as pastagens em monocultivo adubada e sem adubação

Arranjo	Cultivar	Contrastes					
(3x2) + 20 m	GG100	-1	-	-	-1	-	-
	I144	-1	-	-	-1	-	-
	VM58	-1	-	-	-1	-	-
(2x2) + 9 m	GG100	-	-1	-	-	-1	-
	I144	-	-1	-	-	-1	-
	VM58	-	-1	-	-	-1	-
9x2 m	GG100	-	-	-1	-	-	-1
	I144	-	-	-1	-	-	-1
	VM58	-	-	-1	-	-	-1
Pastagem monocultura	Adubada	3	3	3	-	-	-
	s/adubação	-	-	-	3	3	3

Efetuiu-se ainda a correlação entre os dados de luminosidade e produtividade da forrageira. Para esse procedimento adotou-se a Correlação de Pearson à probabilidade de 5% de rejeição da hipótese de nulidade.

5.4 Resultados

A radiação fotossinteticamente ativa disponível nos sistema silvipastoril variou entre as estações ($p < 0,05$), as médias oscilaram entre 491,76 (outono) e 1053,59 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (primavera) (Tabela 1). Na pastagem em monocultivo também se constatou esse efeito, no entanto, com diferente comportamento entre os períodos avaliados.

Tabela 1 - Radiação fotossinteticamente ativa incidente (RFAi) ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) no dossel forrageiro em pastagem de *Urochloa decumbens* em monocultura (pleno sol) e em sistema silvipastoril

Sistema de cultivo	RFAi ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)				p	EPM
	Outono	Inverno	Primavera	Verão		
Pleno sol	1084,87 d ¹	1176,34 c	1830,44 a	1662,75 b	<0.001 ²	0,01 ³
Silvipastoril	491,76 c	689,55 b	1053,59 a	635,37 b	<0.001	0,02

¹Médias seguidas por letras distintas, minúscula na linha e maiúscula na coluna, diferem pelo teste SNK ($p < 0,05$); ² Erro tipo 1; ³ Erro padrão da média; n=27

No sistema silvipastoril verificou-se interação entre estação do ano e arranjo espacial das arbóreas ($p < 0,05$) (Tabela 2). A RFAi média das quatro estações foi superior no arranjo de $(3 \times 2) + 20$ ($842,34 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Os arranjos com nove metros entre os renques apresentaram médias semelhantes, de $652,73 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ no de fila dupla e de $658,63 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, no de fila simples.

Tabela 2 - Radiação fotossinteticamente ativa incidente (RFAi) ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) no dossel forrageiro em pastagem de *Urochloa decumbens* e intensidade do sombreamento (%) em sistema silvipastoril com *Eucalyptus* ssp. sob diferentes arranjos espaciais conforme a estação climática

Variável	Arranjo	Estação				p	EPM
		Outono	Inverno	Primavera	Verão		
RFAi ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	$(3 \times 2) + 20$	533.36 cA ¹	736.3 bA	1264.8 aA	830.9 bA	0.003 ²	41,2 ³
	$(2 \times 2) + 9$	479.43 bA	666.10 bA	931.0 aB	534.4 bB		
	9x2	462.49 bA	666.22 bA	964.9 aB	540.9 bB		
Sombreamento (%)	$(3 \times 2) + 20$	54.77 aA	39.33 bA	36.74 bB	52.55 aB	0.012	2,22
	$(2 \times 2) + 9$	59.13 bA	45.01 cA	53.44 bcA	70.11 aA		
	9x2	60.60 bA	45.06 cA	52.72 bcA	70.19 aA		

¹Médias seguidas por letras distintas, minúscula na linha e maiúscula na coluna, diferem pelo teste SNK ($p < 0,05$); ² Erro tipo 1; ³ Erro padrão da média, $n=9$

O sombreamento no silvipastoril também demonstrou efeito da interação entre arranjo espacial e estação ($p=0,012$). Maiores médias foram obtidas no período do verão, principalmente nos tratamentos com maior densidade de arbóreas. No período do outono e do inverno notou-se médias semelhantes entre os arranjos espaciais semelhante ao resultado descrito para RFAi.

A RFAi foi superior na entrelinha em relação à área sob a copa das arbóreas ($p < 0,05$). Na primeira, a média geral foi de $792,52 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ao passo que no centro das entrelinhas foi de $642,61 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Foi observado interação entre arranjo e local de amostragem, porém, apenas no SSP de $(3 \times 2) + 20$, onde ocorreram valores distintos entre os dois sítios avaliados (tabela 3). Sob a copa das arbóreas os valores de RFAi não diferiram, independente do arranjo. Resultado semelhante foi constatado para a intensidade do sombreamento, com menor média na entrelinha para o arranjo $(3 \times 2) + 20$.

Tabela 3 - Radiação fotossinteticamente ativa incidente (RFAi) ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) no dossel forrageiro em pastagem de *Urochloa decumbens* e intensidade do sombreamento (%) em sistema silvipastoril com *Eucalyptus* ssp. com diferentes arranjos espaciais na entrelinha e sob a copa da arbórea

Variável	Local	Arranjo			p	Erro padrão da média
		(3x2) + 20	(2x2) + 9	9x2		
RFAi ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Sob a copa	676.22 aB	617.27 aA	634.12 aA	0,010	19.46
	Entrelinha	1006.46 aA	688.19 bA	682.92 bA		
Sombreamento (%)	Sob a copa	54.40 aA	58.73 aA	58.30 aA	0,027	2.20
	Entrelinha	37.30 bB	55.12 aA	55.98 aA		

¹Médias seguidas por letras distintas, minúscula na linha e maiúscula na coluna, diferem pelo teste SNK ($p < 0,05$); ² Erro tipo 1; ³ Erro padrão da média, $n=12$

Com relação ao cultivar de eucalipto, constatou diferença quanto à intensidade de sombreamento ($p < 0,05$) e, em consequência sobre a RFAi no sub-bosque (tabela 4). Notou-se maior interceptação da luminosidade no SSP com o cultivar I144 ($p < 0,05$) (tabela 4).

Tabela 4 - Radiação fotossinteticamente ativa incidente (RFAi) ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) no dossel forrageiro em pastagem de *Urochloa decumbens* e intensidade do sombreamento (%) em sistema silvipastoril com diferentes cultivares *Eucalyptus* ssp.

Variável	Cultivar			Probabilidade	Erro padrão da média
	GG100	I144	VM58		
RFAi ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	769,4 a	618,9 b	764,3 a	0,002	24,88
Sombreamento (%)	50,32 b	59,31 a	50,28 b	0,001	1.44

¹Médias seguidas por letras distintas na linha, diferem pelo teste SNK ($p < 0,05$), $n=36$

O índice de área foliar da *U. Decumbens* no silvipastoril variou ao longo das estações e entre os arranjos ($p < 0,05$) (tabela 5). Maiores médias foram observadas no verão em relação ao outono e primavera. Quanto ao arranjo, houve efeito negativo do aumento da densidade de arbóreas sobre essa variável. O tipo de cultivar utilizado no sistema também apresentou efeito sobre essa resposta, com menores índices no silvipastoril com o I144 ($p < 0,05$).

Tabela 5 – Índice de área foliar (IAF) em *Urochloa decumbens* em sistema silvipastoril com *Eucalyptus* ssp. com diferentes arranjos

	Arranjo			p	Erro padrão da média	Média
	3x2 + 20	2x2 + 9	9x2			
Estação						
Outono/2016	0.38	0.22	0.32	0,73 ²	0,07	0.31 B ¹
Primavera/2016	0.51	0.25	0.39			0.38 B
Verão/2017	0.86	0.79	0.82			0.83 A
Local de amostragem						
Sob a copa	0.57	0.43	0.52	0,11	0,04	0.51 A
Entrelinha	0.60	0.41	0.50			0.50 A
Cultivar						
GG100	0.66	0.40	0.60	0,43	0,08	0.55 A
I144	0.52	0.30	0.38			0.40 B
VM58	0.57	0.58	0.55			0.57 A
Média	0.58 a ¹	0.42 b	0.51 ab			

¹Médias seguidas por letras distintas, minúscula na linha e maiúscula na coluna, diferem pelo teste SNK (p<0,05), ² Erro tipo 1;

Com relação aos sistemas em monocultivo o IAF foi de 0,86 na pastagem sob adubação e de 0,61 naquela onde essa prática não foi realizada. Na análise de contrastes constatou-se ausência de diferença significativa apenas entre os arranjos (3x2) + 20 e 9x2 com a pastagem em monocultura manejada sem adubação (tabela 6).

Tabela 6 – Estimativa dos contrastes entre a pastagem em monocultivo adubada e sem adubação em função dos arranjos de eucalipto para o índice de área foliar (IAF) de *Urochloa decumbens* em sistema silvipastoril com *Eucalyptus* ssp.

Arranjo	Pastagem			
	Sob adubação		Sem adubação	
	Estimativa	Probabilidade	Estimativa	Probabilidade
3x2+20 m	-0,271	0,021*	-0,026	0.819
2x2+9 m	-0,430	0,005	-0,186	0,030
9x2 m	-0,345	0,003	-0,100	0,317

* teste de Fisher.

No que diz respeito à interceptação luminosa pelo dossel forrageiro (IL), houve efeito significativo apenas da estação e do arranjo espacial do sistema (tabela 7). Relataram-se incrementos significativos na interceptação da RFA em todos os arranjos entre a primavera e verão. Na pastagem em monocultivo a IL média foi de 56,61% (1140,17 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) para o sistema manejado com adubação, superior às médias obtidas nos três arranjos (p<0,05) e de 45,05% (834,93 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) na área manejada sem a aplicação de fertilizantes. No caso da segunda, a porcentagem de radiação interceptada pela forragem não diferiu da obtida no arranjo (3x2) + 20m.

Tabela 7 – Interceptação luminosa pelo dossel forrageiro (IL) em *Urochloa decumbens* em sistema silvipastoril com *Eucalyptus* ssp. com diferentes arranjos

	Arranjo			<i>p</i>	Erro padrão da média	Média
	3x2 + 20	2x2 + 9	9x2			
RFA interceptada (%)						
Estação						
Outono/2016	28,34	18,21	25,34	0,21 ²	3,60	23,96 B ¹
Primavera/2016	36,34	16,37	28,28			27,00 B
Verão/2017	55,15	54,21	54,26			54,54 A
Local de amostragem						
Sob a copa	38,79	29,38	36,03	0,81	2,14	34,77 A
Entrelinha	41,00	29,81	35,90			35,56 A
Cultivar						
GG100	44,08	29,43	40,81	0,57	3,60	38,11 A
I144	37,63	25,47	30,21			31,10 A
VM58	38,12	33,89	36,86			36,29 A
Média	39,94 a ¹	29,59 b	35,96 ab			

¹Médias seguidas por letras distintas, minúscula na linha e maiúscula na coluna, diferem pelo teste SNK ($p < 0,05$), ² Erro tipo 1.

A altura média do dossel forrageiro da *U. decumbens* não diferiu entre os cultivares e arranjos espaciais, também não se constatou interação entre essas variáveis ($p > 0,05$). Com relação à época de avaliação foi constatado incremento gradual entre o primeiro e terceiro cortes da forrageira ($p = 0,0001$). As médias foram de 33,2; 39,0 e 48,0cm para os cortes efetuados no outono e primavera de 2016 e verão de 2017, respectivamente. Nas pastagens em monocultura também se constatou esse comportamento, as médias foram de 34,3; 41,7 e 47,8cm respectivamente para o primeiro, segundo e terceiro cortes ($p = 0,0001$).

A produtividade da *U. decumbens* no SSP foi superior no arranjo (3x2) + 20m em relação ao sistema com fila simples apenas no corte efetuado no verão (tabela 8). Com relação aos tratamentos com espaçamento de 9m entre os renques o desempenho produtivo da forrageira apresentou-se semelhante.

Tabela 8 – Produção de matéria seca (kg ha⁻¹) de *Urochloa decumbens* em sistema silvipastoril com diferentes arranjos espaciais e cultivares de *Eucalyptus* spp.

Estação	Arranjo			p	EPM
	3x2 + 20	2x2 + 9	9x2		
	Produção de matéria seca (kg ha ⁻¹)				
Outono/2016	1.868,7 aA ¹	722,1 bB	833,9 bB	0,002 ²	146.06 ³
Primavera/2016	842,9 aB	341,1 bB	514,7 abB		
Verão/2017	2.121,1 aA	2.019,7 aA	2.103,4 aA		

¹Médias seguidas por letras distintas, minúscula na linha e maiúscula na coluna, diferem pelo teste SNK (p<0,05), ² Erro tipo 1, ³ Erro padrão da média

Na pastagens em monocultura a produtividade a produtividade diferiu em função do manejo (p=0,0001) e do corte (0,0001). Assim como observado no silvipastoril a produtividade foi superior no último corte (Tabela 9).

Tabela 9 – Produção de matéria seca (kg ha⁻¹) de *Urochloa decumbens* em sistema silvipastoril com diferentes arranjos espaciais e cultivares de *Eucalyptus* spp.

Tratamento	Corte			p	EPM
	1	2	3		
	Produção de matéria seca (kg ha ⁻¹)				
Pastagem adubada	2.643,8 bB ¹	1.572,6 cB	4.281,5 aA	0.006 ²	235,8 ³
Pastagem sem adubação	2.027,1 abB	1.743,6 bB	2.649,6 aB		

Corte 1- Outono/2016; corte 2- primavera/ 2016; corte 3- verão 2017. ¹Médias seguidas por letras distintas, minúscula na linha e maiúscula na coluna, diferem pelo teste SNK (p<0,05), ² Erro tipo 1, ³ Erro padrão da média

Na análise de correlação constatou-se associação negativa entre a produtividade da *U. decumbens* e RAFT e sombreamento no sub-bosque (Tabela 10). Ambas apresentaram associação negativa ainda sobre o IAF. Forte correlação positiva foi constatada para altura do dossel com o IAF e a interceptação luminosa pela forrageira.

Tabela 10 – Correlação dos parâmetros de luminosidade, índice de área foliar e produtividade da forrageira

	IAF	Produtividade	Altura do dossel
RFA transmitida	-0.54 ¹	-0.63	-0.34
<i>p</i>	0.0001 ²	0.0001	0.0004
RFA incidente	0,16	0.35	0.08
<i>p</i>	0.1132	0.0012	0.4138
Sombreamento	-0,21	-0.31	0.06
<i>p</i>	0.0384	0.0016	-0,02
ILF	0.95	0.65	0.68
<i>p</i>	0.0001	0.0001	0.0001
IAF	-	0.60	0.58
<i>p</i>		0.0001	0.0001
Produtividade		-	0.55
<i>p</i>			0.0001

¹Coefficiente de correlação de Pearson (r); ²Erro tipo 1; RFA- radiação fotossinteticamente ativa; ILF– interceptação da luminosidade pelo dossel forrageiro

5.5 Discussão

No sistema silvipastoril a radiação fotossinteticamente ativa incidente apresentou redução acentuada entre a primavera e o verão, superior à observada na pastagem em monocultura (tabela 1). Esse comportamento sugere aumento da interceptação da luminosidade por parte do eucalipto, em função das melhores condições climáticas decorrentes do início da estação chuvosa. De fato, foi constatado maior sombreamento em todos os arranjos avaliados para a estação do verão (tabela 2). Posteriormente, constatou-se uma fase de redução na interceptação da luminosidade pela arbórea entre o outono e inverno.

A radiação interceptada pelo eucalipto apresenta correlação direta com o índice de área foliar da arbórea (Chaves et al., 2007). Essa característica varia em função de fatores como manejo do sistema, a exemplo de desrama e desbaste, idade, genótipo e disponibilidade de recursos como umidade e nutrientes no solo (Boyden et al., 2008; Paula et al., 2013). Sob deficit hídrico verifica-se redução da área foliar do eucalipto em consequência da redução ou inibição na taxa de iniciação foliar ou mesmo, da senescência foliar acelerada (Gonçalves e Moraes Passos, 2000). Com o aumento da disponibilidade de água no solo, ocorre incrementos na área foliar do eucalipto (Stape et al., 2010). Assim, o aumento gradual da umidade no solo entre a primavera e o verão (figura 1) contribui para incrementos no IAF da arbórea e na interceptação da RFA e, por consequência, intensifica o sombreamento no sub-bosque do SSP.

Os valores de RFAi no SSP apresentaram-se abaixo de $800 \text{ photon } \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ em todas as estações, com exceção da primavera. Esse valor foi descrito por Gifford (1974) como mínimo necessário para desenvolvimento de gramíneas do gênero *Urochloa*. Apesar do aumento na luminosidade no verão em relação ao outono e inverno, o incremento do sombreamento pelas arbóreas manteve a RFAi no sub-bosque em valores abaixo do considerado ideal para a forrageira.

Durante as estações do verão e do outono a porcentagem de sombreamento independente do arranjo espacial se mostrou superior a 50% (tabela 2). Tal índice tem sido descrito como limitantes para o desempenho de forrageiras do gênero *Urochloa* (Paciullo et al., 2014; Santos, 2014). Índices de sombreamento inferiores a esse foram observados em todos os arranjos apenas no período do inverno, equivalente à seca na região. Desse modo, apesar da redução da interceptação luminosa pelas arbóreas nesse estação, a baixa umidade no solo e temperatura limitam o desempenho da forrageira.

Os resultados obtidos para RFAi em relação ao local de avaliação na parcela diferem dos descritos por Rodrigues et al., (2014). Os autores conduziram estudo na mesma área, 48 meses após o plantio do eucalipto e constataram maiores médias de RFAi no centro da entrelinha em relação à área sob copa do eucalipto para os três arranjos. A ausência de diferença na RFAi quanto ao local de amostragem para os arranjos mais adensados pode ser justificado pelo maior porte das arbóreas. Nesse estudo o SSP avaliado encontrava-se entre o sétimo e oitavo ano, portanto com estrutura aérea mais desenvolvida. Embora o sistema esteja implantado com orientação no sentido Leste-Oeste esse fator promoveu efeito somente no arranjo com maior espaçamento entre os renques.

Com relação ao efeito do cultivar, foi constatado menor RFAi no SSP com a variedade I144 (tabela 4). O uso desse repercutiu em maior sombreamento no sub-bosque em todas as estações. Esse resultado indica diferença na estrutura aérea entre os genótipos testados. Variações na intensidade de interceptação da RFA em função do uso de diferentes cultivares de eucalipto em SSP têm sido descrito na literatura (Chaves et al., 2007; Paula et al., 2013).

Paciullo et al., (2007) relatam que *Urochloa decumbens* em ambientes com baixa RFAi exibem grande plasticidade morfológica. Nessas condições a planta modifica sua estrutura como mecanismo de maximizar a captação da luminosidade. Entre essas adaptações são descritos incrementos no IAF. Os resultados observados nos arranjos avaliados divergem do descrito por esses autores. A menor IAF no arranjo de $(2 \times 2) + 9\text{m}$ em relação ao $(3 \times 2) + 20\text{m}$ está associado em parte ao sombreamento mais intenso (tabela 5). Conforme Bosi et al.,

(2014) intensidade de sombreamento de 40% ou mais em SSP reduzem a IAF em *U. Decumbens*.

Santos et al., (2016) avaliaram a IAF em *Brachiaria brizantha* cv. BRS Piatã em SSP com eucalipto nos arranjos (2x2) + 12 e (2x2) + 22 no quinto ano pós plantio e não constataram diferença para essa resposta entre os tratamentos. Entretanto, os autores observaram maiores médias no centro da parcela em relação à área sob a copa do eucalipto independente da estação climática. A ausência de diferença obtida nesse estudo para os arranjos com nove metros entre os renques de eucalipto, quanto ao local de amostragem, se justifica pela elevados índices de sombreamento nos dois sítios avaliados. No arranjo de (3x2) + 20 apesar sombreamento mais intenso na área sob as arbóreas, somente esse fator não foi suficiente para promover diferença na IAF.

O SSP contendo o cultivar I144 como componente arbóreo apresentou menor IAF na forrageira. Esse resultado era esperado em função da menor RFAi no sub-bosque do SSP com essa arbórea, sobretudo na primavera e verão (tabela 4). Conforme Gobbi et al., (2009) e Paciullo et al., (2011) existe forte correlação positiva entre RFA incidente sobre o dossel forrageiro e IAF. Com relação aos cultivares VM58 e GG100 os resultados corroboram com os relatados por Oliveira et al., (2016). Os autores avaliaram o IAF de *U. brizantha* em SSP com diferentes genótipos de eucalipto implantados em arranjos (2x2) + 10m, (3x3) + 9m e 9x3m aos 38, 50 e 62 meses e observaram diferenças na IAF da forrageira para esses dois cultivares aos 38 e 50 meses. Aos 62 meses, no entanto, constataram-se médias semelhantes entre os silvipastoris com esses cultivares. Vale ressaltar que o sistema avaliado nesse estudo se encontrava em idade mais avançada e, portanto, era esperado resultados semelhantes entre os cultivares.

Independente do arranjo utilizado, o IAF na pastagem em monocultivo sob adubação demonstrou superioridade (tabela 6). Esse resultado pode ser justificado pelos altos índices de sombreamento no sub-bosque no SSP. De acordo com Fagundes et al., (2006) a IAF em *U. decumbens* aumenta linearmente com a dose aplicada de nitrogênio. Desse modo, a ausência de diferença entre a IAF da pastagem não adubada e dos os arranjos (3x2) + 20 e 9x2 sugere limitação de ordem mineral.

As pastagens tanto no sistema integrado quanto no monocultivo não atingiram o valor de 95% de interceptação luminosa, preconizado como ideal para a corte de forrageiras do gênero *Urochloa* (Giacomini et al., 2009; Lana Sousa et al., 2011). Os baixos índices de IL sugerem baixa densidade de perfilhos, principalmente para o sistema a pleno sol. No

silvipastoril verificou-se aumento significativo na IL da primavera para o verão (tabela 7), apesar do aumento no sombreamento observado para o mesmo período. Forrageiras do gênero *Urochloa* apresentam significativa capacidade de adaptação às mudanças na intensidade de sombreamento. De acordo com Paciullo et al., (2011), na tentativa de maximizar a captação da luminosidade em ambientes com limitação desse recurso, a exemplo de sistemas silvipastoris, a gramínea utiliza de mecanismos bioquímicos, fisiológicos e morfológicos.

O desempenho produtivo da *U. decumbens* se apresentou superior no verão nos arranjos (2x2) + 9m e 9x2m (Tabela 8). Constatou-se nesse período os maiores índices de sombreamento para ambos arranjos (tabela 2). Na primavera, embora esse índice também tenha sido superior a 50%, a RFAi no sub-bosque apresentou os maiores médias entre a avaliações efetuadas. Assim, o incremento na produtividade da forrageira entre o penúltimo e último corte pode estar associado à melhores condições climáticas, sobretudo em relação a umidade e temperatura (figura 1).

A produtividade média por corte nos arranjos espaciais (3x2) + 20m, (2x2) + 9m e 9x2m foi de 1.610,9; 1.150,7 e 1.027,7 kg de MS ha⁻¹ ano⁻¹ respectivamente. Na comparação com ambas pastagens os tratamentos silvipastoris apresentaram produtividade inferior, as quais apresentaram médias de 2.140,1 kg de MS ha⁻¹ ano⁻¹ para o manejo sem adubação e 2.832,6 kg de MS ha⁻¹ ano⁻¹ no sistema com adubação. Nos arranjos com nove metros entre renques a produtividade da forrageira apresentou redução superior a 50% em comparação a mesma sob condições de sol pleno. Redução na produtividade da *U. decumbens* em SSP quando comparado à forrageira sob sol pleno tem sido descrito na literatura (Pereira et al., 2015; Guerra et al., 2016; Mendonça et al., 2017). Esse comportamento está relacionado à maior competição por recursos, entre os quais a luminosidade.

Os resultados obtidos com relação à altura do dossel da *U. decumbens* no SSP demonstraram pouca sensibilidade dessa variável na faixa de sombreamento obtidas nos arranjos avaliados. Com relação à comparação com a pastagem sob condições de sol pleno os resultados contrariaram o comportamento geralmente descrito na literatura. Em condições de luminosidade reduzida, inerentes ao SSP, o estiolamento ou alongamento do caule constitui importante adaptação morfológica da forrageira (Paciullo et al., 2011; Gómez et al., 2013). Assim, espera-se incrementos na altura do dossel com o aumento do sombreamento no sub-bosque em SSP. Essa ausência de efeito do sombreamento sobre a altura do dossel de *U. decumbens* também foi descrito por Guerra et al., (2016).

A radiação fotossinteticamente ativa incidente mostrou fraca associação positiva com a produtividade da *U. decumbens* ($r=0,35$) (Tabela 10). Esse comportamento condiz com o descrito por (Bosi et al., 2014,) ao avaliarem forrageira em nos períodos de seca e chuvoso e obtiveram respectivamente, $r=0,26$ e $r=0,73$ entre essas duas variáveis. Os mesmos autores obtiveram ainda $r=0,56$ e $r=0,21$ quando mensuraram o efeito da RFAi sobre o IAF, superiores aos obtidos nesse estudo ($r=0,16$). O sombreamento em contrapartida, demonstrou impacto em intensidade próxima, porém negativo, sobre o desempenho da gramínea ($r=-0,31$). Nesse estudo a intensidade de sombreamento variou entre 0%, no sistema pleno sol, à valores superiores a 70%, nos arranjos com fila simples e dupla com nove metros entre renques. Redução significativa na produção de matéria seca pela *U. decumbens* foi descrita por Paciullo et al. (2011) a partir dos 25% de sombreamento.

5.6 Conclusão

A radiação fotossinteticamente ativa incidente no dossel forrageiro se mostra superior no arranjo de $(3 \times 2) + 20m$. Esse efeito ocorre apenas entre a primavera e verão, nas demais estações os índices de RFAi e sombreamento se mostram equivalentes. A intensidade do sombreamento apresenta incremento entre o inverno e verão, período no qual atinge índices acima de 50% em todos arranjos.

O Cultivar I114 apresenta maior interceptação de luminosidade, desse modo maior intensidade de sombreamento é observada no sub-bosque em relação à integração com eucalipto VM58 e GG100. Esse aspecto causa impacto negativo no índice de área foliar da *Urochloa decumbens* em SSP com esse cultivar.

A produtividade da *Urochloa decumbens* apresenta correlação negativa com o sombreamento. Esse fator repercute em redução no desempenho produtivo da forrageira em comparação ao cultivo em monocultura.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos funcionários do Campo Experimental de Santa Rita e a CAPES pelo apoio

5.7 Referências

BONO, J.A.M.; MACEDO, M.C.M.; TORMENA C.A. Qualidade física do solo em um latossolo vermelho da região sudoeste dos cerrados sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, v.37, p.743-753, 2013.

BOSI, C.; PEZZOPANE, J.R.M.; SENTELHAS, P.C. et al. Produtividade e características biométricas do capim-braquiária em sistema silvipastoril. *Pesq Agropec Bras*, v.49, n.6, p.449-456, 2014.

BOYDEN, S.; BINKLEY, D.; STAPE, J.L. Competition among *Eucalyptus* trees depends on genetic variation and resource supply. *Ecology*, v.89, n.10, p.2850-2859, 2008.

CHAVES, R.A.; REIS, M.G.F.; REIS, G.G. et al. Dinâmica de cobertura de dossel de povoamentos de cultivar de *Eucalyptus grandis* w. hill ex- maiden submetidos a desrama artificial e desbastes. *R. Árvore*, Viçosa-MG, v.31, n.6, p.989-998, 2007.

FAGUNDES, J.L.; FONSECA, D.M.; MISTURA, C. et al. Características morfogênicas e estruturais do capim-braquiária em pastagem adubada com nitrogênio avaliadas nas quatro estações do ano. *R. Bras. Zootec.*, v.35, n.1, p.21-29, 2006.

GALDINO, S.; SANO, E.E.; ANDRADE, R.G. et al. Large-scale modeling of soil erosion with rusle for conservation planning of degraded cultivated Brazilian pastures. *Land Degrad. Develop.*, v.27, n.3, p.773-784, 2016.

GIACOMINI, A.A.; SILVA, S.C.; LUCENA, D.O. et al. Growth of marandu palisadegrass subjected to strategies of intermittent stocking. *Sci. Agric.*, Piracicaba, v.66, n.6, p.733-741, 2009.

GIFFORD, R.M. A Comparison of potential photosynthesis, productivity and yield of plant species with different photosynthetic metabolism. *Aust. J. Plant Physiol.*, v.1, n.1, p.107-117, 1974.

GOBBI, K.F.; GARCIA, R.; GARCEZ NETO, A.F. et al. Características morfológicas, estruturais e produtividade do capim-braquiária e do amendoim forrageiro submetidos ao sombreamento. *Rev Bras Zootec.*, v.38, n.9, p.1645-1654, 2009.

GÓMEZ, S.; GUENNI, O.; BRAVO DE GUENNI, L. Growth, leaf photosynthesis and canopy light use efficiency under differing irradiance and soil N supplies in the forage grass *Brachiaria decumbens* Stapf. *Grass Forage Sci.*, V.68, N.3, P.395-407, 2013.

GONÇALVES, M.R.; MORAES PASSOS, C.A. Crescimento de cinco espécies de eucalipto submetidas a déficit hídrico em dois níveis de fósforo. *Ciência Florestal*, v.10, n.2, p.145-161, 2000.

GUERRA, C.R.S.B.; DE MORAES, M.L.T.; RECCO, C.R.S.B. et al. Forage yield and nutritive value of naturally growing *Brachiaria decumbens* as undergrowth to an aroeira tree stand in a silvopasture system. *Afr. J. Agric. Res.*, v.11, n.40, p.3922-3928, 2016.

LANA SOUSA, B.M.; NASCIMENTO JR., D., RODRIGUES, C.S. et al. Morphogenetic and structural characteristics of xaraes palisadegrass submitted to cutting heights. *R. Bras. Zootec.*, v.40, n.1, p.53-59, 2011.

- MENDONÇA, R.M.A.; LANA, A.M.Q.; LANA, R.M.Q. et al. Meteorological, light and grass characteristics under trees in a Silvopasture in the Brazilian cerrado. *Aust. J. Crop Sci.*, v.11, n.2, p. 177-183, 2017.
- OLIVEIRA, C.H.R., REIS, G.G.; REIS, G.F. et al. Dynamics of eucalypt cultivares canopy and *Brachiaria brizantha* production in silvopastoral systems with different spatial arrangements. *Agroforest Syst.*, v.90, n.6, p.1077-1088, 2016.
- PAULA, R.R.; REIS, M.G.F.; REIS, G.G. et al. Eucalypt growth in monoculture and silvopastoral systems with varied tree initial densities and spatial arrangements. *Agroforest Syst.*, v.87, n.6, p.1295-1307, 2013.
- PACIULLO, D.S.C.; CARVALHO, C.A.B.; AROEIRA, L.J.M. et al. Morfofisiologia e valor nutritivo do capim braquiária sob sombreamento natural e a sol pleno. *Pesq. Agropec. Bras.*, v.42, p.573–579. 2007.
- PACIULLO, D.S.C.; GOMIDE, C.A.M.; CASTRO C.R.T. et al. Características produtivas e nutricionais do pasto em sistema agrossilvipastoril, conforme a distância das árvores. *Pesq Agropec Bras*, v.46, n.10, p.1176-1183, 2011.
- PACIULLO, D.S.C.; PIRES, M.F.A.; AROEIRA, L.J.M. et al. Sward characteristics and performance of dairy cows in organic grass–legume pastures shaded by tropical trees. *animal*, v.8, n.8, p.1264-1271, 2014.
- PEREIRA, A.C.M.; DE ALMEIDA, J.C.C.; MOREIRA, T.G.B. et al. Avaliação do componente arbóreo e forrageiro de sistemas silvipastoris na mesorregião dos “Campos das Vertentes” de Minas Gerais. *Rev Bras Agropecu Sustent.*, v.5; n.1, p.66-77, 2015.
- RIBEIRO, A.C.; GUIMARAES, P.T.G.; ALVAREZ, V.H. *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª Aproximação*. Viçosa, MG, 1999. 359p.
- RODRIGUES, C.O.D.R.; ARAUJO, S.A.C.; VIANA, M.C.M. et al. Light relations and performance of signal grass in silvopastoral system. *Acta Scientiarum*, Maringá, v.36, n.2, p.129-136, 2014.
- SANTOS, C.G. Avaliação de gramíneas forrageiras tropicais em diferentes níveis de sombreamento. *Revista Científica de Produção Animal*, v.16, n.1, p.68-78, 2014.
- SANTOS, D.C.; GUIMARAES JR., R.; VILELA, L. et al. Forage dry mass accumulation and structural characteristics of Piatã grass in silvopastoral systems in the Brazilian savannah. *Agric. Ecosyst. Environ.*, v.233, p.16-24, 2016.
- STAPE, J.L.; BINKLEY, D.; RYAN, M. et al. The Brazil Eucalyptus Potential Productivity Project: Influence of water, nutrients and stand uniformity on wood production. *For. Ecol. Manag.*, v.259, n.9, p.1684-1694, 2010.
- USDA – United States Department of Agriculture. *Brazil - Livestock and Products Semi-annual: Semi Annual Livestock Report 2017*. Disponível em: <https://gain.fas.usda.gov>, acesso em: 20 out. 2017.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A recuperação de pastagens via inclusão de arbóreas tem sido sugerida como opção viável para a região do cerrado. Essa alternativa demanda maior investimento, porém, compõem uma fonte adicional de renda para a atividade. Em relação às forrageiras, a *Urochloa decumbens* apresenta notável adaptabilidade a intensidades de sombreamento moderado. Nesse contexto, essa gramínea caracteriza-se como uma das mais utilizadas em sistemas silvipastoris no Brasil.

Os cultivares GG100, VM58 e I144 de *Eucalyptus* spp. no que se refere ao desempenho da forrageira, apresentam viabilidade similar para consórcio com a *U. decumbens*. Nesse estudo, constatou-se maior intensidade de sombreamento e menor IAF na forrageira sob consórcio com o cultivar I144. Entretanto, a variação observada não promoveu diferença entre os cultivares utilizados

A produtividade da forrageira nos arranjos avaliados nesse estudo sofre redução significativa comparada ao cultivo em monocultura. Nesse contexto, redução nas perdas produtivas demandará arranjos menos adensados visto que a produtividade das forrageiras C4 está diretamente relacionada RFA incidente no sub-bosque desses sistemas.

Do ponto de vista nutricional a forrageira em consórcio apresenta incremento no teor proteico e menor acúmulo de material senescente. Os teores de fibra em detergente neutro e em detergente ácido e de lignina por outro lado sofrem redução.