UIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
ESCOLA DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL TROPICAL

Interface Solo-Planta-Animal em sistemas agroflorestais para a intensificação ecológica na pecuária

Perlon Maia dos Santos

Araguaína - TO
2014

UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
ESCOLA DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL TROPICAL

TESE

Interface Solo-Planta-Animal em sistemas agroflorestais visando a produção ecológica na pecuária

Perlon Maia dos Santos

Tese apresentada ao curso de Doutoramento do Programa de Pós Graduação em Ciência Animal Tropical da Universidade Federal do Tocantins

Área de concentração:
Produção Animal

Linha de Pesquisa:
Relação Solo-Planta- Animal

Orientador: Prof. Dr. Antonio Clementino dos Santos

Araguaína - TO
2014

Interface Solo-Planta-Animal em sistemas agroflorestais visando a produção ecológica na pecuária

Por

Perlon Maia dos Santos

Orientação

Orientador: Prof. DSc. Antonio Clementino dos Santos
Co-Orientador: Prof. DSc. Emerson Alexandrino
Co-Orientador: Prof. DSc. José Neuman Miranda Neiva

Perlon Maia dos Santos

Interface Solo-Planta-Animal em sistemas agroflorestais visando a produção ecológica na pecuária

Tese apresentada e aprovada como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor, tendo sido julgado pela Banca Examinadora formada pelos professores:

Prof. Dr. Antonio Clementino dos Santos
Universidade Federal do Tocantins
Orientador

Prof. Dr. Emerson Alexandrino
Universidade Federal do Tocantins
Avaliador

Prof. Dr. Sabino Pereira da Silva Neto
Instituto Federal do Tocantins
Avaliador

Prof. Dr. Rubens Ribeiro da Silva
Universidade Federal do Tocantins
Avaliador

Prof. Dr. José Neuman Miranda Neiva
Universidade Federal do Tocantins
Avaliador

Aprovada em 28 de outubro de 2014

AGRADECIMENTOS

A Deus

Aos meus pais Diassis e Lúcia Maia dos Santos

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal Tropical da Universidade Federal do Tocantins

Ao Capes, pela bolsa concedida

Ao PRONEX - Programa de apoio aos Núcleos de Excelência (SECT/TO e CNPq) pelo financiamento da pesquisa

Ao meu orientador Antonio Clementino dos Santos

A minha esposa Adriana Fernandes Maia pela compreensão e amor

Aos colegas do curso de pós-graduação em Ciência Animal Tropical pela amizade e troca de experiência

A minha equipe de experimento

Muito obrigado!

SUMÁRIO

	Página
CAPÍTULO I: **REVISÃO DE LITERATURA: INTERFACE SOLO-PLANTA-ANIMAL EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS VISANDO A PRODUÇÃO ECOLÓGICA NA PECUÁRIA**	1
RESUMO	1
ABSTRACT	2
INTRODUÇÃO	3
REVISÃO DE LITERATURA	6
Panorama mundial sob a produção pecuária	6
O Sistema silvipastoril	7
Efeitos de sistemas integrados sobre a forrageira do sub- bosque	10
Efeitos dos sistemas integrados sob o solo	11
A produção de ruminantes	16
Desempenho animal sobre sistemas integrados	17
Árvores que compõem os sistemas silvipastoris	20
CONSIDERAÇÕES FINAIS	23
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25
CAPÍTULO II: ABORDAGEM MULTIVARIADA E GEOESTATÍSTICA DE ATRIBUTOS DO SOLO SOB DIFERENTES USOS. EFEITOS DE POUSIO E CONVERSÃO DE FLORESTA SECUNDÁRIA EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS	31
RESUMO	31
ABSTRACT	32
INTRODUÇÃO	33
MATERIAIS E MÉTODOS	36
Localização	36
Preparo das áreas	37
Correção adubação e plantio	38
Coleta de dados	39
Análise de solo	40
Umidade e Temperatura do solo	40
Respiração edáfica do solo	41
Resistência a Penetração	42
Estatística	42
Análises descritivas e multivariadas	43
Análise Geoestatística e agrupamento Fuzzy	44
RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
Respostas das avaliações descritivas, correlações e análises Multivariadas	47
Atributos químicos do solo	47

Umidade do solo 53
Temperatura do solo 54
Respiração do solo 57
Resistência do solo a penetrção 61
Correlações 64
Análises multivariadas 67
Respostas das avaliações geostatísticas e agrupamento Fuzzy 76
Avaliações geoestatística 76
Agrupamento não hierárquico Fuzzy *k*-means 97
CONCLUSÕES 101
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 201

CAPÍTULO III: ABORDAGEM MULTIVARIADA E ESPACIAL DO EFEITO DO RALEAMENTO DE FLORESTA SECUNDÁRIA PARA IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS SILVIPASTORIS ALTERNATIVOS SOB A CICLAGEM DE NUTRIENTES 110
RESUMO 110
ABSTRACT 111
INTRODUÇÃO 113
MATERIAIS E MÉTODOS 116
Localização 116
Preparo das áreas 116
Correção adubação e plantio 119
Avaliação do acúmulo e decomposição de serrapilheira e Forragem 119
Estatística 123
Análises multivariadas 123
Análise Geoestatística e agrupamento Fuzzy 125
RESULTADOS E DISCUSSÃO 128
Respostas das avaliações descritivas e análises Multivariadas 128
Produção de serrapilheira 128
Perdas de forragem 130
Acúmulo de nutrientes 132
Decomposição da serrapilheira 132
Liberação de nutrientes 136
Taxas de decomposição 142
Análises multivariadas 149
Análises espaciais e agrupamento Fuzzy 163
Análise geoestatística 163
Análise de agrupamento não hierárquico Fuzzy *k*-means 177
CONCLUSÕES 179
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 181

CAPÍTULO IV: ABORDAGEM ESPACIAL E MULTIVARIADA DE CARACTERÍSTICAS AGRONÒMICAS E 187

MORFOGÊNICAS DO PASTO EM SISTEMAS SOB INTEGRAÇÃO PECUÁRIA FLORESTA
RESUMO 187
ABSTRACT 188
INTRODUÇÃO 189
MATERIAIS E MÉTODOS 192
Localização 192
Preparo das áreas 193
Correção adubação e plantio 195
Avaliações agronômicas e estruturais 196
Avaliações morfogênicas 197
Estatística 199
Análises descritivas e multivariadas 199
Análise Geoestatística 200
RESULTADOS E DISCUSSÃO 202
Respostas das avaliações descritivas e análises Multivariadas 202
Atributos agronômicos 202
Atributos morfogênicos 206
Análise de Coponentes Principais e Geoestatística 209
Avaliação geoestatística 214
CONCLUSÕES 226
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 227

CAPÍTULO V: DESEMPENHO DE OVINOS EM SISTEMA AGROFLORESTAL ALTERNATIVO NO ECÓTONO CERRADO:AMAZÔNIA 231
RESUMO 231
ABSTRACT 232
INTRODUÇÃO 233
MATERIAIS E MÉTODOS 235
Localização 235
Sistemas de produção – áreas experimentais 235
Correção e adubação do solo 236
Plantio da forrageira 237
Dados climatológicos 237
Avaliações agronômicas do pasto 238
Avaliações dos animais 238
Estatística 243
RESULTADOS E DISCUSSÃO 244
Respostas climatológicas 244
Respostas agronômicas 246
Respostas bromatológicas 250
Desempenho animal 252
Comportamento em pastejo 258
Produtividades dos sistemas 263
CONCLUSÕES 264
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 265
CONSIDERAÇÕES FINAIS 272

INTERFACE SOLO-PLANTA-ANIMAL EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS VISANDO A PRODUÇÃO ECOLÓGICA NA PECUÁRIA

RESUMO

A degradação das pastagens tem assolado a pecuária brasileira. As áreas degradadas são, muitas vezes, abandonadas, originando florestas secundárias. Uma floresta secundária de grande expressão na região da Amazônia Oriental é formada pela palmeira de Babaçu (*Attalea speciosa*, Mart). Uma alternativa para a reincorporação destas áreas sob floresta secundária, no sistema de produção, é a formação de sistemas integrados floresta-pasto, dando origem a sistemas silvipastoris. Estes modelos referem-se a técnicas de produção que integram animais, forrageiras e árvores na mesma área. Neste sentido, é possível que a preservação de espécies arbóreas nativas, como no caso do babaçu, possa melhorar a qualidade do solo, aumentar a quantidade e a qualidade da massa de forragem ofertada, e com isso, elevar o desempenho dos animais. Contudo, existem carências relacionadas ao entendimento das modificações morfofisiológicas, agronômicas e nutricionais das gramíneas, das características de pastejo dos ruminantes e de seu desempenho, das alterações fisicoquímicas do solo e da ciclagem de nutrientes em condições de SSP gramínea tropical x floresta de babaçu. Desta forma, o objetivo com este estudo foi avaliar a possibilidade de formação de sistema silvipastoril com babaçu e capim mombaça, de modo a determinar: se a adoção de SSP em floresta secundária promove restauração e conservação de atributos do solo, mantendo-o semelhante a floresta ou se permite a alteração de suas características; quais atributos do solo são mais afetados pelo tipo de uso e cobertura; como ocorre os mecanismos de acúmulo, decomposição e liberação de nutrientes da serrapilheira; indentificar a contribuição da liteira da pastagem para a ciclagem de nutrientes nos sistemas integrados; evidenciar quais as principais caracteristicas da ciclagem de nutrientes são afetados pelo raleamento da floresta; avaliar os efeitos de níveis de sombreamento moderado e alto sobre o crescimento do capim Mombaça em áreas de babaçuais, comparando-os com um sistema convencional a sol pleno; caracterizar o pasto, o desempenho e a produtividade do cordeiros nestes sistemas, em comparação com o sitema convencional de exploração. Foi observado que a presença do componente arbóreo causa a restauração e a manutenção das condições dos solo, e que os principais atributos beneficiados são a matéria orgânica, a CTC e a SB. O raleamento para plantio da forrageira causa redução do aporte de serrapilheira, mas não da sua taxa de decomposição, contudo, a liteira do pasto eleva o aporte de material orgânico no solo e aumenta a taxa de ciclagem de nutrientes. A forrageira nos ambientes integrados apresenta maior taxa de alongamento dos tecido e menor acúmudo de biomassa e os principais atribuos afetados pela sombra são o perfilhamento, o alongamento de folhas e colmos, o teor de máteria seca e o acúmulo de massa seca. Os ovinos apascentado nos sistemas integrados apresentam menor desempenho, pois estes ambientes são quentes e úmidos e possuem baixa densidade de forragem, o que afeta o pastejo, além de possuirem menos horas de iluminação natural.

Palavras chave: manejo de ecossistemas, preservação ambiental, sustentabilidade

INTERFACE SOIL-PLANT-ANIMAL IN AGROFORESTRY FOR ECOLOGICAL INTENSIFICATION IN LIVESTOCK

ABSTRACT

The degradation of pastures has plagued the Brazilian cattle industry. The degraded areas are often abandoned, resulting in secondary forests. A secondary forest largely in the Eastern Amazon region is formed by the palm babassu (*Attalea speciosa* Mart). An alternative to the reincorporation of these areas under secondary forest in the production system is the creation of integrated forest-pasture systems, resulting in silvopastoral systems. These models refer to techniques that integrate production of animals, trees, and forage in the same area. In this regard, possible to preserve native species, such as babassu, can improve the soil quality, increasing the mass quantity and quality of forage available, and therefore increase the performance of the animals. However, there are deficiencies related to the understanding of physiological changes, agronomic and nutritional grasses, the grazing ruminants features and performance, the physicochemical changes in the soil and nutrient cycling in a position to SSP tropical grass x babassu forest. Thus, the aim of this study was to evaluate the possibility of silvopastoral system of training babassu and Mombasa grass, to determine: whether the adoption of SPS in secondary forest promotes restoration and conservation of soil properties, keeping it similar to forest or allows you to change its characteristics; which soil properties are most affected by land use and cover; as is the accumulation mechanisms, decomposition and release of nutrients from litter; identification of their contribution to the pasture litter nutrient cycling in integrated systems; which highlight the main features of nutrient cycling are affected by forest thinning; evaluate the effects of moderate and high levels of shading on the growth of Mombasa grass in areas of babassu, comparing them with a conventional system in full sun; characterize the pasture, the performance and productivity of sheep in these systems compared to conventional operating sitema. It was observed that the presence of the tree component because the restoration and maintenance of the conditions of the soil, and that the main beneficiaries are the attributes organic matter, exchange cation and sum of bases. The thinning of the forage planting causes reduction of litter input, but not its rate of decomposition, however, the litter pasture increases the organic material contribution in the soil and increases nutrient cycling rate. Forage in integrated environments has greater elongation rate of tissue and less acúmudo biomass and major atribuos affected by shade are tillering, elongation of leaves and stems, the dry matter content and the dry matter accumulation. The apascentado sheep in integrated systems have lower performance because these environments are hot and humid and have low forage density, which affects grazing, and possess fewer hours of daylight.

Keywords: ecosystem management, environmental conservation, sustainability

1. INTRODUÇÃO

Sob as atuais circunstâncias da interação do homem com o planeta Terra, prever-se, que com a forma de vida adotada e os métodos de uso dos recursos naturais do planeta haverá o colapso da vida na terra da forma como se conhece. Estudos têm apontado que: *até meados deste século haverá aumento na concentração de CO_2 na atmosfera podendo chegar a 720 µmol mol^{-1}* (ambiente normal 370 µmol mol-1)*. Consequentemente haverá uma elevação da temperatura de até +3 °C, o que ocorrerá em conjunto com mudanças no padrão de precipitação* (IPCC, 2007). O mesmo relatório sugere que isto poderá acarretar uma alteração gradual da flora com reflexos sob a fauna, inclusive sob o homem (GRANDIS, GODOI e BUCKERIDGE, 2010).

Em meio as formas de alterações da natureza impostas pela espécie humana tem-se a produção de alimentos para sua própria existência como um dos principais agentes de transformação do ambiente. A intensificação agrícola para atender a demanda de uma população crescente tem conseqüências ambientais sérias, como a degradação e a poluição (MARNEY e ANTHONY, 2011). Desta forma, é preciso rever os valores aos quais estão alicerçados os atuais sistemas de produção e manejo.

No âmbito da agropecuária, a pecuária de criação de ruminantes tem destaque econômico positivo, dada sua participação no produto interno bruto e os recordes de exportação (CASTILHOS et al., 2009), mas tem fomentado o processo de degradação das pastagens em vários sistemas de exploração. Este processo leva diminuição da capacidade de suporte das pastagens, que afeta a produção e o desempenho animal e culmina com a degradação do solo e dos recursos naturais (DIAS FILHO, 2005).

A degradação das pastagens tem assolado a pecuária brasileira. Em diversos sistemas de produção à pasto, áreas sob degradação agrícola são abandonadas, e novas áreas são abertas para atender o aumento da expansão da fronteira pecuária. Nas áreas abandonadas ocorre o processo de restauração natural da vegetação, dando origem as florestas secundárias ou capoeiras. Este processo de transformação converteu 59 milhões de hectares de florestas nativas em florestas secundárias até o segundo milênio (INPE 2009).

Até 1990 estimava-se que existia, só no bioma Amazônico, cerca de 20 milhões de hectares de floresta secundária (FEARNSIDE; GUIMARÃES, 1996). Até 2001 estimou-se que de 20 a 50% das áreas ocupadas pela agropecuária na fronteira Amazônica sejam compostas por florestas secundárias. Em todo o mundo a conversão de florestas primária em florestas secundária, nas regiões tropicais, ocorre a uma taxa de 6,4% ao ano (PEREIRA; VIEIRA, 2001). No Tocantins estima-se que 15% das áreas abertas são constituídas por florestas secundárias. Para a Amazônia Legal a estimativa é de 24% (INPE 2009).

As floretas secundárias que surgem em áreas de pasto degradado funcionam como pousio para áreas pecuárias (PEREIRA; VIEIRA, 2001). Contudo, após 5 anos, em média, estas área são reabertas com uso de fogo (INPE 2009) e reincorporadas ao sistema produtivo, caracterizado pelo monocultivo de gramíneas forrageiras tropicais cultivadas. Desde longa data (KANASHIRO; DENICH, 1998), alternativas tem sido estudadas para integrar a produção agropecuária em ambientes de floresta secundária. As vantagens seriam a redução das queimadas, o aporte de nutrientes e matéria orgânica no solo, a absorção de carbono atmosférico, reestabelecimento das funções hidrológicas, manutenção de biodiversidade sócio-econômica-ambiental e redução da erosão e lixiviação (NEPSTAD, MOUTINHO e MARKEWITZ, 2001).

No sentido de conter a degradação das pastagens e, em parte, preservar o ambiente, tem sido propostas técnicas de produção que promovam menor alteração da paisagem e recomponha parte do ambiente natural. Estes são os sistemas agroflorestais, como os sistemas silvipastoris, que se referem às técnicas de produção nas quais se integram animais, plantas forrageiras e árvores na mesma área e surgem como uma alternativa viável para recuperação e implantação de novas áreas de pastagens.

Dentre os principais benefícios, para os componentes do sistema solo-planta-animal, destacam-se a conservação da água e solo, a possibilidade de melhoria das propriedades físicas e químicas e da atividade biológica na superfície do solo, e o conforto térmico para os animais (PACIULLO et al., 2008) a preservação da fauna e da flora e redução da pressão sobre florestas existentes (OUINSAVI et al., 2005 apud VOUDOHE, 2011) e a melhoria das condições de vida da sociedade.

Uma vertente mais atual do sistema silvipastoril (SSP) preconiza a permanência de espécies nativas na pastagem. Este é um sistema que necessita de maiores estudos, e é considerada nesta pesquisa a hipótese de que tais sistemas podem ser eficiente na recuperação e conservação do solo, na manutenção da produção de forragem e na produção animal.

De acordo com Carvalho e Botrel (2002), a presença de árvores na pastagem tem trazido inúmeros benefícios ao sistema de produção, tanto na recuperação e sustentabilidade da produção forrageira, como para os aspectos de importância econômica. Segundo Bernardino (2007), algumas das modificações microclimáticas mais importantes que as árvores promovem em áreas sob sua influência são redução na temperatura do ar e do solo e manutenção de maior teor de umidade no solo. Essas mudanças podem favorecer a atividade dos microrganismos e acelerar os processos de decomposição e mineralização dos principais nutrientes do ecossistema (WILSON, 1996) de modo a aumentar a ciclagem de nutrientes e a disponibilização destes elementos para a gramínea forrageira presente no sistema agroflorestal.

O enriquecimento da fertilidade do solo com pastagens, em áreas sob a influência das copas de árvores, tem sido observado em várias regiões e ocorre, dentre diversos fatores, em razão do aproveitamento de nutrientes pelas árvores, de camadas do solo que estão fora do alcance das raízes das forrageiras, e à incorporação gradativa de biomassa das árvores (folhas, flores, frutos etc) à pastagem (SÁNCHEZ et al., 2003) além da proteção do solo promovida pelas árvores.

Sabe-se, entretanto, que a presença das árvores reduz a luminosidade para as forrageiras que crescem sob suas copas, o que normalmente diminui o crescimento das plantas do sub-bosque. No entanto, nos SSPs, as mudanças que o componente arbóreo promove nas áreas de pastagens sob sua influencia, principalmente na fertilidade do solo e nas condições microclimáticas, podem melhorar a produtividade da forrageira e dos animais (CARVALHO e BOTREL, 2002). O número e o arranjo das espécies arbóreas também é fator que determina a resposta da espécie do sub-bosque e deve ser considerado na implantação dos SSPs. Assim, pesquisas realizadas no sentido de determinar o número máximo, de determinada espécie arbórea, em um sistema integrado,

devem ser realizadas visando estabelecer o equilíbrio ecológico e zootécnico. Ainda é de grande interesse quantificar a contribuição da floresta para a produção animal.

Pouco se sabe sobre o quanto de nutrientes a floresta de um SSPs pode fornecer aos animais e qual seria o melhor arranjo das árvores, mas algo já é sabido sobre a produção de serrapilheira e sua decomposição. Assim, é preciso criar um modelo que considere as entradas e saídas de nutrientes do sistema solo-planta-animal e onde se possa especular sobre o delineamento de sistemas de manejo sob SSP. A seguir serão explicitados alguns efeitos deste modelo de exploração sob o sistema solo-planta-animal e apresentados algumas perspectivas de estudos.

De modo geral o objetivo com este estudo foi verificar o efeito do sombreamento de palmeiras de babaçu em áreas de silvopastagem sobre as características morfogênicas, agronômicas e bromatológicas do capim Mombaça, sobre as características fisicoquímicas do solo e sobre o pastejo e desempenho de ovinos, além da ciclagem de nutrientes pelas palmeiras em região de ecótono Amazônia:Cerrado por avaliação espacial destes atributos e de métodos de avaliações geoestatísticos e multivariados

1.2 REVISÃO DE LITERATURA

1.2.1 Panorama mundial sob a produção pecuária

A demanda cada vez maior por produtos de origem animal, como carne e leite e seus derivados, é visualizada em diversas pesquisas do mundo e ocorre devido o crescimento exponencial da população e elevação do IDH, e é acompanhada da conscientização da população a respeito de aspectos de qualidade dos alimentos e fatores ambientais. Tais fatores contribuem na elevação da capacidade de consumo de produtos produzidos corretamente, como vem ocorrendo no Brasil na última década. Contudo, a política que preza apenas o aumento da produção vem impondo graves complicações ao sistema ambiental global, como degradação, extinção e efeito estufa.

Atualmente a qualidade dos produtos comercializados e a conservação do meio ambiente destacaram-se no cenário da pesquisa mundial, seja pela demanda por parte do mercado consumidor, que exige aumento da produtividade

sem haver excessivo aumento nos custo de produção e degradação biológica a curto e longo prazo, seja pela tomada de consciência por parte dos consumidores a fatores de métodos e manejo de criação dos animais comercializados, e de programas mundiais de controle da poluição, do seqüestro de carbono e desenvolvimento sustentável (MÜLLER et al. 2009).

Os impactos ambientais e socioeconômicos, causados pela substituição de extensas áreas de florestas por pastagens, têm sido objeto de preocupação por parte da comunidade mundial. Por isso, o fomento às atividades econômicas sustentáveis e a geração de soluções tecnológicas que viabilizem a produção pecuária em áreas já alteradas como em parte da Amazônia, priorizando sistemas ambientalmente recomendáveis, socialmente justos e economicamente rentáveis, são de fundamental importância. As discussões e possíveis soluções para os problemas enfrentados pela pecuária tropical, passa pela proposição de sistemas de produção sustentáveis para viabilizar a atividade e troná-la rentável, em harmonia com o meio ambiente e variáveis socioeconômicas como os sistemas agroflorestais (FRANKE E FURTADO, 2001).

Os sistemas agroflorestais (silvipastoris) podem ser constituir em alternativa para conciliar e garantir a produção simultânea de animais e seus produtos, madeira, frutos, derivados em geral e outros bens de serviço. Promovem condições ambientais propícias ao desenvolvimento simultâneo de atividades agrosilvipastoris e asseguram uma melhor conservação das características ambientais de uma região. Entretanto, o sistema de integração entre árvores e pastos ainda precisa avançar bastante, em especial sobre a variabilidade espacial das transformações fisiológicas das gramíneas forrageiras sob sombra e o efeito na produtividade, além da variabilidade espacial das alterações do pastejo e do desempenho animal em diferentes ambientes com espécies arbóreas.

1.2.2 Sistema Silvipastoril

No passado tinha-se a idéia de que a conservação da biodiversidade deveria existir sob o sistema de áreas de proteção de florestas, sendo ignorada a capacidade de preservação em áreas agrícolas (VODOUHE et al., 2011). Tal concepção deve ser desprezada. Os sistemas integrados, silvipastoris,

caracterizam-se pela incorporação ou preservação respectivamente, de árvores e arbustos à criação de animais em algum arranjo temporal ou espacial. Pode-se defini-lo como um sistema que combina a produção de plantas florestais com animais e pastos, simultânea ou sequencialmente numa mesma área com a finalidade de auferir produtos ou serviços desses componentes (PACIULLO et al., 2008). Segundo Castilhos et al. (2009) tem havido uma transição da produção pecuária para a lavoureira e posteriormente para a florestal. Neste sentido, infere-se que a adoção de sistemas integrados, como o pecuária-floresta, pode promove maior eficiência econômica do que atividades isoladas e reduzir os investimentos de origem não agrícola. Este sistema permite maior aproveitamento dos recursos naturais e constitui-se em alternativa para uso sustentável da terra, com a preservação do solo, da água e do clima (SCHROTH et al., 2004 apud VOUDOUHE, 2011). Além da produtividade têm-se a sustentabilidade ambiental e o papel socioeconômico.

O SSP caracteriza-se pela incorporação ou manutenção de árvores a criação de animais a pasto simultânea ou sequencialmente no mesmo terreno. Este sistema apresenta maior sustentabilidade biológica, econômica, social e ecológica, quando comparado a sistemas produtivos tradicionais, como o monocultivo (CASTRO et al. 2008), além de estar incluído em programas mundiais de desenvolvimento sustentável e seqüestro de gases do efeito estufa (GEEs) (MÜLLER, et al. 2009). Atualmente o SSP é uma ferramenta de grande importância em sistemas de criação de ruminantes a pasto para manter a qualidade do ambiente. Contudo, carecem estudos em regiões específicas e de espécies específicas componentes do SSP, do ponto de vista das mudanças morfofisiológicas e agronômicas das gramíneas, do desempenho e comportamento dos animais em pastejo (FRANKE E FURTADO, 2001) e do solo, além da avaliação interativa do sistema solo-planta animal.

A adoção dos SSPs ainda é pouco expressiva na região de écotono Amazônia:Cerrado, embora exista apreciável acervo científico sobre a atividade florestal e produção de ruminantes. Grande parte destes estudos são referentes a SSPs com Eucalipto (*Eucalyptus ssp*) onde se avaliam densidade arbóreas, raleamentos, características do solo, espécies adaptadas para o sub-bosque, oferta de forragem, produtividade florestal, ciclagem de nutrientes e resposta

animal (McNEELY e SCHROTH, 2006). Tais parâmetros são pouco conhecidos em sistemas integrados constituídos por espécies nativas, como o babaçu (*Orbignya phalerata*, Mart.). Esta espécie marca a paisagem na zona de transição entre as florestas úmidas da bacia Amazônica, o Cerrado e as terras semi-áridas do Nordeste brasileiro, tanto nos poucos remanescentes florestais de vegetação primária, como na paisagem agrícola da região, em áreas de agricultura intinerante, nas pastagens extensas e na vegetação secundária que se desenvolve nas áreas de pousio após o abandono do uso agrícola ou pastoril (MUNIZ, 2004).

O sistema integrado apresenta maior sustentabilidade biológica, econômica, social e ecológica, quando comparado a sistemas produtivos tradicionais, como o monocultivo (CASTRO et al., 2008), além de estar incluído em programas mundiais de desenvolvimento sustentável e seqüestro de gases do efeito estufa (GEEs) (MÜLLER, et al. 2009). Atualmente o SSP é uma ferramenta de grande importância em sistemas de criação de ruminantes a pasto para manter a qualidade do ambiente. Tal forma de produzir é largamente conhecida no mundo, onde presença de árvores das áreas pecuárias complementam renda, conserva a cultura e as relações socioeconômicas da região (VODOUHE et al., 2011).

Nos SSP, a presença das espécies arbóreas promovem grandes modificações no ambiente do sub-bosque. As copas das árvores contribuem para a redução do processo erosivo, por reduzirem o impacto das chuvas; seu sistema radicular, forma barreiras, diminuindo a lixiviação; há absorção dos nutrientes das camadas mais profundas, onde parte destes são depositados na camada superficial do solo, melhorando suas propriedades químicas; há geração de ambientes com microclima, que beneficia as plantas e os animais; há ação de quebra de ventos e diminuição da demanda evaporativa das plantas herbáceas dos sub-bosques em relação às variações microclimáticas e há maior teor de umidade sob a copa em relação as áreas expostas diretamente ao sol, contribuindo para melhorar o desempenho das gramíneas forrageiras. Contudo, carecem estudos em regiões específicas e de espécies específicas componentes do SSP, do ponto de vista das mudanças morfofisiológicas e agronômicas das gramíneas, do comportamento dos animais em pastejo, das características de

suas carcaças (FRANKE e FURTADO, 2001) e do solo, além da avaliação do sistema solo-planta animal.

As espécies arbóreas também exercem influência sob o sub-bosque forrageiro, contudo também há relatos onde as espécies forrageiras interferem sob a floresta. É o caso dos estudos de Peri et al. (2002), que verificaram maior produção da floresta quando esta fora plantada isoladamente em relação ao plantio em SSP. Ainda foi observado que a redução no número de árvores ao longo do tempo e o maior desenvolvimento do sob-bosque afetou negativamente a produção da floresta. Castilhos et al. (2009) ainda observaram que apenas algumas espécies do sub-bosque afetam o componente floresta. Deste modo, parece haver interações entre as espécies arbóreas e determinados componente herbáceos, bem como com o número de árvores, ficando evidente a necessidade de se avaliar SAFs de composição variada para a recomendação de delineamentos de manejo. A retirada dos dejetos dos animais do SSP também pode levar a uma diminuição gradual da produtividade arbórea (ANDRADE, TAVARES e COUTINHO, 2003).

Ao se considerar a crescente densidade populacional no mundo e o aumento da demanda por produtos de origem florestal, há uma necessidade de identificar e promover estratégias de uso da terra que são compatíveis com a manutenção biológica e a diversidade (Schroth et al., 2004). Isto pode ser conseguido com os SSP, que segundo Crespo (2008) também produz benefícios consideráveis no sistemas solo-planta-animal e no uso dos nutrientes, devendo ser tratados como necessidade para recuperar a fertilidade do solo e reduzir a degradação nos trópicos.

1.2.3 Efeitos de sistemas integrados sobre a forrageira do sub-bosque

A performance de um pasto sob SSP é determinado pela densidade e arranjo das árvores, presença dos animais, disponibilidade de água, radiação e nutrientes e tolerância da espécie forrageira ao sombreamento. A falta de sincronismos entre tais fatores ou negligência de algum aspecto pode gerar o fracasso do sistema. Nisso, estudos com gramíneas tropicais C_4, tem mostrado reduções na produção de forragem quando há falhas do dimencionamento do sombreamento, normalmente quando se exceder 50% da radiação incidente

(DEVKOTA et al., 2009 apud PACIULLO, 2011). Contudo, em condições de sombra moderada, há evidências da manutenção ou mesmo um aumento na produção de forragem em relação a condições de pleno sol (BARUCH e GUENNI, 2007). Tais registros demostram a importância do componente arbóreo para o SSP e a necessidade de se determinar o ótimo de número de árvores, sendo que tal variável pode ser largamente afetada pela arquitetura das copas da espécies constituintes do SSP.

Estudos com sombreamento moderado por *Pinus elliottii* revelou redução de 57% no rendimento médio de forragem de três gramíneas (azevém, aveia-preta e aveia-branca), enquanto que o sombreamento fraco reduziu a produção em 34%, mas aumentou em 2,3% o teor de proteína bruta (PB) e em 5,5% a digestibilidade (DIVMO). Foi observado que a redução da radiação fotossinteticamente ativa de 100% para 75% e para 44% promoveu aumento da DIVMO de 56,8 para 60,1 e 62,6 e da PB de 606 para 7,9 e 8,9 respectivamente (BARRO et al., 2008). Buergler, Fike e Burger (2006) também relatam que, em diversas gramíneas forrageiras, os teores de PB da forragem aumentam com a restrição luminosa. Outro fator que pode contribuir para a mellhoria da DIVMS é a redução da temperatura. Estudos de Kepharth e Buxton (1993 apud BARRO, 2008) relatam melhoria da DIVMS da forragem em um SSP e associam tal resposta a efeitos da amenização da temperatura e seu efeito sobre a redução no teor de fibra e/ou da lignina.

Em condições onde o componente arbóreo reduz drasticamente a chegada de luz para o sub bosque há redução da produção de forragem devido a diminuição da fotossíntese pela limitação da luz. Conduto, em certas condições de sombreamento, a produção da forrageira e a absorção de nutriente pode ser aumentada pelo sombreamento. O sombreamento moderado pode reduzir o excesso de luz e a temperatura, e evitar a situação conhecida por fotorrespiração, onde a rubisco se liga ao O_2 ao invés de se ligar ao CO_2 e reduz o desempenho vegetativo (TAIZ e ZEIGER, 2004).

Um fator que pode esta associado ao aumento da qualidade nutricional da gramíneas do sub-bosque é a mineralização da serrapilheira (LANNA et al., 2010). Grandes partes dos estudos de mineralização são realizados com a serrapilheira de espécies exóticas de interesse comercial para produção de

madeira, e, desta forma, pouco se sabe sobre a contribuição de nutrientes pela serrapilheira de espécies nativas. A presença de animais também tem sido um fator pouco considerado. Alguns estudos têm demonstrado que a mineralização pode ser um processo lento (FREIRE et al., 2010), dependente do teor de lignina e nitrogênio. Isto contribui para reduzir as perdas de nutrientes no bosque, aumentando sua sustentabilidade e reduzindo os possíveis efeitos deletérios ao ambiente. Esta característica pode reduzir a ciclagem de nutrientes entre a floresta, o pasto e os animais, contudo, é possível que o microambiente gerado pelo pasto e a atividade de pastejo, com o efeito físico do pisoteio, possa acelerar o processo de decomposição da serrapilheira. Estudos desta natureza são raramente reportados. O que se sabe é que a mineralização, constituição e a produção da serrapilheira apresentam variações ao longo do ano, o que também implica sob a ciclagem de nutrientes, e que alguns nutrientes, como o P, podem ser re-translocado para a floresta e não atender a demanda de todo o sistema (LANNA et al., 2010).

Além da melhoria do valor nutricional da forragem em SSP, defendida por vários autores (BUERGLER, FIKE e BURGER, 2006), alguns estudos (BARRO et al., 2008) ainda apontam que se pode obter benefícios da floresta para a forrageira associados do retardo do avanço da maturidade fisiológica. É claro que este efeito depende do sombreamento imposto, mas, de toda forma, vislumbra potencial de ser uma alternativa de mitigação ao problema da seca sobre as pastagens da região de ecótono Amazônia:Cerrado e sua capacidade de suporte, devendo, desta forma, ser melhor caracterizado. Outro ponto favorável é a maior preservação de água no solo, que pode prolongar o período de crescimento da forrageira ao longo do ano, adentrado na estação seca. Ormazabal (1991) relata que a presença da floresta promove aumento da oferta de foragem verde durante o período de escassez ao longo do ano. Contudo, estudos em SSP com eucalipto (OLIVEIRA et al., 2007) demonstram drástica redução do crescimento da forrageira na época seca. Pode haver elevada evapotranspiração em SSP. Paciullo et al. (2011) também observaram redução da produção de forragem em SSP na época seca, enquanto Guevara-Escobar et al. (2007) verificaram mesma umidade do solo para sistemas a pleno sol e monocultivo. Estas controvérsias

podem estar relacionadas principalmente a cobertura vegetal e as espécies utilizadas no SSP.

Algumas pesquisas, contudo, não tem observado melhoria dos teores de fibra, PB e fósforo de gramíneas (*Brachiaria brizantha*) em SSP, apenas tem sido reportado que plantas forrageiras localizadas imediatamente abaixo das árvores apresentam maiores teores de Ca, K e Mn que plantas localizadas nas entrelinhas (OLIVEIRA et al., 2007). Outros estudos têm verificado menor qualidade de forragem em gramíneas sombreadas e associado tal fato à menor digestibilidade *in vitro*, decorrente do aumento do conteúdo de lignina (LIN et al., 2001), da redução dos teores de carboidratos não-fibrosos ou do aumento do conteúdo de paredes celulares nos tecidos das plantas (BELSKI, 1992). Guevara-Escobar et al. (2007) também não observaram grandes diferenças entre os teores de minerais de pastagem sob SSP e a pleno sol, o que pode estar ligado ao comportamento de pastejo dos animais. Estas respostas discrepantes podem estar associadas aos componentes do SSP, quanto a adaptação e produção de substâncias alelopáticas, bem como ao arranjo de distribuição espacial das árvores adotado no sistema. Os SSP são mais complexos que os sistemas de produção convencionais e necessitam de investigações aprofundadas. Pouco se conhece sob as interações de um SSP compostos por espécies nativas da flora do ecótono Amazônia:Cerrado.

Estudos de Acharya (2006) e Bellow et al. (2008 apud VOUDOHE, 2011) revelam que em diversos sistemas de integração florestal há limitação do desempenho das espécies presentes devido o desconhecimento dos efeitos do sombreamento e a biologia das espécies envolvidas. Assim, faz-se necessário estudos que avalie desendidades da floresta para determinação de graus de raleamento e da permanência de éspecies arbóreas.

1.2.4 Efeitos dos sistemas integrados sob o solo

Um dos principais efeitos da presença de espécies arbóreas em áreas de ocupação pecuária tem sido a adição de C na forma de matéria orgânica no solo. As principais formas de entra de C no solo oriundo das árvores são folhas, galhos e raízes, contudo também há incremento da entrada por via macro e micro-fauna (HOWLETT et al., 2011). O incremento de C promove a agregação do solo, é isso

traz diversos benefícios. Alguns sistemas de produção, como os de grande uso de mecanização e monocultivo, podem tornar o solo uma fonte de C para a atmosfera. Já os SSP podem fazer do solo um reservatório de C e por isso fazem parte do Protocolo de Quioto para redução de emissão dos gases do efeito estufa (RODRÍGUEZ-MURILO, 2001). Contudo a deposição de C é dependente de fatores como característica do sistema biológico, climáticas e outras condições ambientais. Nos SSPs o sequestro e incorporação de C é determinado pela densidade e distância das árvores (SAHA et al., 2010 apud HOWLLET, 2011). Moreno, Obrador e García (2007 apud HOWLLET, 2011) afirmam que o aumento da densidade de árvores conduz a uma maior influência da árvore na paisagem. eles afirmam que se pode obter até 13% de cobertura florestal ao se permitir a existencia de 20 a 35 árvores ha^{-1}. Estudos com 27,5% de cobertura florestal podem resultar no estoque de 29,9 Mg de C ha^{-1} (HOWLETT et al., 2011). Em SSP é comum armazenamento de 20 a 40 Mg de C ha^{-1} em divesas condições ambientais (NAIR et al., 2010). Tais valores são pouco conhecidos em SSP com florestas nativas brasileiras. Estudos como o de Lanna et al. (2010) demonstraram que nem sempre o SSP aumenta o teor de C do solo em relação a pastagem em monocultivo, o que pode estar relacionado a diferenças na produção da forrageira entre os sistemas.

No Brasil, trabalhos de sequestro de C por árvores em SSP de florestas nativas são escassos. A maioria dos estudos são conduzidos com a introdução de animais em florestas exóticas para produção de madeira visando reduzir custos de plantio. Nos países desenvolvidos, onde há maior pressão para reter C da atmosfera em função do crédito de C, estudos tentem determinar ao certo como funciona o seqüestro de C por árvores em SSP. Este é o caso da pesquisa de Howlett et al. (2011) que estimaram as entradas de C no solo oriundo de uma árvore em diferentes profundidades e distancias. Eles observaram que árvores (*Quercus suber* L.) são eficientes para incorporar C no solo. As maiores deposições ocorrem debaixo da copa e nas camadas mais superficiais (2 m do caule de 0 a 25 cm de profundidade = 137,3 g C kg^{-1} solo; 5 m do caule de 25 a 50 cm de profundidade = 15,74 g C kg^{-1} solo; 15 m do caule de 50 a 100 cm de profundidade 4,65 g C kg^{-1} solo). Estes valores dão idéia do potencial de SSP de depositarem C no solo, contudo pouco se sabe sob tal processo em SSP

composto por espécies arbóreas nativas do bioma amazônico. Segundo IPCC (2007 apud GRANDIS, 2010) existem no mundo 630 milhões de hectares de terras agrícolas que poderiam ser usadas para SSP com potencial de seqüestrar entre 1,43 a 2,15 Tg de CO_2 ano^{-1}.

Um ponto bastante positivo dos SSP, para solos que não possuem estrutura, como no caso dos Neossolos Quartzarênicos, que representam 18% dos solos Tocantinenses, é o aumento da matéria orgânica do solo (MOS) com C advindo das árvores. Esta MOS pode conter diferentes frações e aumentar a atividade de microrganismo que produzem substâncias aglutinantes que fazem a ligação de minerais, partículas do solo e orgânicas, raízes e hifas, que protegem e dão estabilidade ao solo (OADES e WATERS 1991). Esta característica, além de melhorar vários atributos do solo, pode reduzir o risco de compactação por pisoteio em solo que possuem tal tendência. Somente em SSP há a deposição de C em regiões profundas do solo devido a atividade e morte de raízes. Isto promove a formação de agregados de grande estabilidade devido sua proteção física (KURZ-BESSON et al., 2006). Outro fator benéfico dos SSP refere-se a preservação das águas subterrâneas (BIRD et al., 2010).

Os estudos de Zucca, Canu e Previtali (2010) compararam os atributos do solo de áreas sob pastagem e sob floresta quanto à física (areia, silte, argila, espessura do solo e densidade e resistência à penetração), química (pH, C, N, C/N, Ca, Mg, Na, K, CTC, e SB), biológia e micromorfológia (microporosidade e microestrutura). Os resultados revelaram redução do armazenamento de C (-64%), perda de solo (-22% da espessura total), aumento da densidade (44%), mudanças na microporosidade, diminuição dos teores de N, Ca e Mg nas áreas sob pastagem em relação a área florestada. Tais resultados demostram o quão nocivos podem ser, para o solo, a converssão da floresta em pastagem, quando esta é mal gerida. Em relação a agricultura os resultados podem ser ainda piores. Contudo, os SSP podem reduzir esses impactos, como por exemplo, pelo fornecimento de N, K e Ca oriundos da serrapilheira, como verificado por Lanna et al. (2010) ao comparar uma pastagem em SSP de espécies nativas com uma em monocultivo. Alfaia et al. (2004) também reportam que o SSP elevam os teores de Ca e Mg do solo, aumentam o pH e reduzem o teor de Al.

O SSP pode proteger o solo de diversas maneiras, mas de acordo com Wairiu, Mullins e Campbell (1993) a contribuição contra a compactação superficial pode ser baixa, apesar da matéria orgânica do solo e da serrapilheira servirem como “absorventes” da pressão do pisoteio. Estes autores verificaram aumento da resistência a penetração em SSP com ovelhas e carneiros nas regiões próximos as árvores, com diminuição do crescimento vegetativo nestas áreas. Isto demonstra claramente uma preferência territorial dos animais e pode ocorrer devido o arranjo espacial de distribuição das árvores. Pouco se sabe sobre estes efeitos, mas os delineamentos de distribuição das árvores devem evitá-los. Na literatura não há modelo ideal devido interações de diversas características. A solução é testar diferentes padrões aplicáveis e verificar o comportamento de pastejo dos animais.

Além do estoque de C, solos abaixo da copa de árvores podem apresentar melhor fertilidade (MORENO, OBRADOR e GARCÍA, 2007). Estes autores confirmaram este fato ao observar que o desempenho de uma pastagem sob a sombra de árvores de carvalho é melhorado. Castro et al. (2001) também reporta que gramíneas sob sombreamento artificial apresentam maiores teores de P, K, Ca e Mg e Crespo (2008) reporta aumento nos teores de C orgânico, N, P, K, Ca e Mg no solo e na pastagem sob SSP. Isto ocorre pela decomposição de frações da árvore que possuem nutrientes oriundos de partes profundas do solo, restos animais e/ou modificações na gramínea. Minerais oriundos da floresta, reciclados pelas plantas e utilizados pelos animais parecem não ter sido quantificado ainda.

1.2.5 A produção de ruminantes

A criação de ruminantes nos trópicos contribui para a produção de alimentos de elevado valor biológico, como carne e leite, para o mundo. Contudo, a região tropical apresenta elevados índices de temperatura e radiação solar, que associados ao manejo inadequado da pastagem e do animal podem ser considerados elementos estressantes ou desgastantes e que prejudicam a exteriorização do potencial produtivo dos ruminantes (CATRO et al. 2008).

É sabido que quando em conforto térmico, os animais pastejam por períodos mais longos, consomem menos água e diminui o tempo de caminhada, apresentam melhor conversão, crescimento, produção e reprodução (BAUMER,

1991) e uniformidade do pastejo, de modo a apresentar maior eficiência e que os SSP podem melhorar o ambiente e as condições de conforto térmico.

O SSP influencia diretamente na produção animal por suas implicações na mudança da estrutura do pasto, do valor nutricional da forragem colhível e do ambiente de pastejo. Estudos demonstram que o aumento do valor nutritivo da dieta (aumento da PB e diminuição da Fiba) eleva o consumo. Já as mudanças estruturais da pastagem, como alongamento de colmos, prejudicam a ingestão da forragem (PACIULLO et al. 2008). Evidentemente estes efeitos dependem da magnitude do sombreamento, do número de árvores e do seu arranjo espacial, sendo que em cada caso existem consumos e desempenhos diferenciados em função do SSP adotado que devem ser analisados de modo integrado em diferentes áreas. De modo geral, o SSP com a palmeira babaçu pode elevar os índices produtivos dos ruminantes devido as melhorias promovidas no sistema de produção.

Dentre os ruminantes que pode ser beneficiados pelo SSP com babaçu podem ser citados os ovinos, pois segundo Dantas et al. (2008) a utilização de forragens de alta produtividade e elevado valor nutritivo é considerada uma alternativa viável para o desenvolvimento da ovinocultura, que pode refletir, positivamente, no desempenho dos animais e na qualidade da carcaça, já que as características da carcaça são influenciadas pela velocidade de crescimento, idade ao abate e regime nutricional dos animais.

1.2.6 Desempenho animal sobre sistemas integrados

Nos trópicos, é comum o baixo desempenho animal devido a degradação do solo e da pastagem e baixa qualidade da forragem ofertada (Boddey et al., 2004). Neste sentido aguns autores têm sugerido que uma opção disponível para superar esses problemas é a integração de pastagens com espécies arbóreas em sistemas silvipastoris (YAMAMOTO et al., 2007 apud PACIULLO, 2011). As melhorias são relacionadas o aumento da fertilidade do solo (POWER et al, 2003), da produção de forragem e de seu valor nutritivo (TUCKER et al, 2008), bem como do ambiente, pois segundo Blackshaw e Blackshaw (1994), o sombreamento pode reduzir em até 30% a carga de calor, o que pode favorecer a performance animal.

Alguns estudos (BELLOW et al., 2008 apud VOUDOHE, 2011) tem observado que produtores rurais com pequenas propriedades possuem maior diversidade arbórea que grandes latifundiários e que, sob a percepção de redução de áreas florestais, os produtores pequenos intentam aumentar a densidade populacional de espécies arbóreas. Tal pespectiva tem grande importancia para a preservação ambiental, contudo, pode ser perfeitamente associada a ideais econômicos de exploração animal. Sob a ótica do SSP estas áreas florestais podem ser utilizadas para a produção de bovinos, ovinos e caprinos.

Apesar dos benefícios do SSP, Paciullo et al. (2011) afirmam que poucos estudos tem avaliado a produção animal neste sistema. Assim, estes autores verificaram o desempenho de bovinos em um SSP de *Brachiaria decumbens* com *Eucalyptus grandis*. Eles observaram maiores gando de peso e ganho por área no SSP, em relação ao sistema de monocultivo em dois anos de avaliação. O ganho de peso diário foi de 512 g no SSP e 452 g no monocultivo. O gando por área foi de 355 kg ha^{-1} no SSP e 317 kg ha^{-1} no monocultivo. O pricipal fator resposável pelo melhor desempenho dos animais no SSP, segundo o autor, foi o maior teor PB da forragem deste sistema em relação ao sistema de monocultivo. Foi quantificado que o consumo de PB no SSP era de 607 g dia^{-1}, enquanto que no monocultivo o cosnsumo foi de somente 538 g dia^{-1}. Embora haja constatação de resultados positivos para o SSP, há relatos de que tal sistema não traz vantagem sob a produtividade em relação ao sistema de monocultivo em ambientes temperados (KALLENBACH et al., 2006 apud PACIULLO, 2011), o que pode ser relacionado com a baixa temperatura do solo (GUEVARA-ESCOBAR et al., 2007). Isto demonstra a eficácia do SSP para ambientes tropicais onda há ganho por parte da floresta e dos animais.

Os estudos de Bird et al. (2010) avaliaram a resposta de ovinos inseridos em um SSP de *Pinus radiata* com diferentes populações arbóreas, sendo: 60 árvores ha^{-1}; 200 árvores ha^{-1}; 815 árvores ha^{-1}; 11.090 árvores ha^{-1} e sem árvores. Eles observaram as mesma produções do pasto nos diferentes sistemas durante 12 anos. Ao final de 25 anos a pastagem desapareceu no SSP com 11.090 árvores ha^{-1}. Ao longo de 4 anos a produção e a produtividade dos ovinos dos SSP com 60 e 200 árvores ha^{-1} foram semelhante entri si e iguais ao sistema de monocultivo, porém foram superiores aos SSP com 815 e 11.090 árvores ha^{-1}.

Ficou constatado que o aumento do número de árvores e seu cresciemnto ao longo do tempo tende a reduzir a oferta de forragem e o desempenho dos ovinos. Assim, fica evidente, que para o sucesso de SSP com espécies nativas da região norte, há necessidade de se determinar o numéro de árvores e sua distribuição espacial, haja vista que Knowles et al. (1992) observaram diferenças na produção animal e vegetal em dois sistemas de distrbuição das árvores de um SSP com mesmo população arbórea.

No Brasil, estudo de SSP com espécies nativas e ovinos são excassos, apesar de haver sistemas, com esta característica, conduzidos de forma empírica. Normalmente os SSP que incluem ovinos são compostos por espécies frutíferas: frutiovinocultura; e visam reduzir as despesas da plantação, sendo apenas atividade complementar a fruticultura. Dentre os benefícios possíveis destacam-se a melhor eficiência no uso da terra; redução dos gastos com capinas; redução da aplicação de fertilizantes e redução de pragas e doenças. Neste sistema algumas partes das fruteiras servem como alimento para os animais, mas pouco se sabe sobre a contribuição dos nutrientes das árvores no desempenho animal. Os pastos utilizados podem ser nativos ou cultivados, devendo ser, neste último caso, considerada a possibilidade de adubações do pasto devido a concorrência com as fruteiras, contudo, dodos sobre estas práticas são excassos na literatura. Os animais empregados neste sistema devem ser mais ou menos especializados e/ou puros de acordo a condição do pasto. Os melhores resultados de resposta animal tem sido obtidos com macho de recria e engorda, haja vista as complicações da fase de cria com ovelhas e cordeiros somadas manejo das árvores. Alguns estudos tem mostrados ganhos animal diário de 40 a 52 g (FILHO, SOARES e ALBUQUERQUE, 2000), mas de modo geral, respostas de desempenho animal, característica de carcaça e impacto ambiental neste sistema ainda são escassas.

Os estudos de Ferreira et al. (2011) evidenciaram vantagens do SSP para ovinos quanto ao pastejo. Estes autores compararam o comportamento de pastoreio de ovinos criados a pleno sol e em SSP de *Cocus nucifera.* Eles observaram que os ovinos a pleno sol pastejavam e ruminavam por menos tempo que ovinos criados no SSP, contudo passavam mais tempo em ócio. Eles concluíram que O SSP influenciou positivamente o comportamento dos animais.

Já Herrera, Hernandez e Noda Aida (2007) avaliaram o compotamento de caprinos em um SSP e observaram aumento do tempo de pastejo no período da tarde e redução do consumo de ração. Ainda verificou-se que estes animais danificam as árvores e podem devastar o SSP. Castro et al. (2003) avaliou o desempenho de ovinos sob SSP com coqueiral sob quatro taxas de lotação (11, 22, 33 e 44 animais ha^{-1}). Eles concluiram que somente sob a maior taxa de latação ha redução do desempenho, mas que este sistema possui potencial econômico.

Diante de poucos resultados fica evidente que a criação de ovinos pode ser beneficiada pelo SSP, desde que haja manejo adequado do stand de árvores. Contudo, ainda são desconhecidos valores relacionados ao quanto de nutrientes a floresta pode fornecer aos ovinos. Para isso é preciso a construção de modelos que identifiquem a produção de serrapilheira, sua decomposição e o teor de nutrientes, a produção forrageira e seu valor nutricional e o consumo e aproveitamento dos nutrientes pelos ovinos. Também ainda é precário o conhecimento sobre desempenho, comportamento e características de carcaça de ovinos produzidos em SSP de floresta nativa no bioma amazônico.

1.2.7 Árvores que compõem os sistemas silvipastoris

Segundo Lovett e Haq (2000) as espécies arbóreas em sistemas SSP tradicionais são principalmente determinada por espécies de árvores que são úteis para a população local no sentido alimentar e econômico. Além de apoiarem a biodiversidade e contribuir com o sistema de exploração animal o SSP deve atender questões sociais da região (VODOUHE et al., 2011). Pequenas propiedas pecuárias podem ter suas receitas complementadas pela produção da floresta (DELGADO, 2005), ao passo que propiedades com produção florestal ou espécies frutíferas podem ser beneficiadas pela pecuária. SSP com éspecies árboreas nativas são poucos estudados. As invertigações de Ahmet, Veysel e Duygu (2009) em um SSP de floresta nativa de *Quercus coccifera* L. com cabras concluíram que neste sistemas podem haver problemas referentes a pressão e os períodos de pastejo. No Brasil, tais conhecimentos são inexistentes.

Na região do ecótono Amazônia:Cerrado uma espécie nativa de presença marcante é o babaçu (*Attalea speciosa*, Mart), que exerce um papel chave do

ponto de vista social, econômico/cultural e ambiental em grande parte do Brasil. Esta espécie possui características farmacológicas e industriais e é passível de formar sistemas pecuários-florestais (CEPEM, 2006). O babaçu entrou no foco do interesse científico especialmente nos anos 80 e 90, resultando em uma série de pesquisas e publicações nas áreas da sócioeconomia e das propriedades químicas do óleo. Atualmente, esta palmeira voltou a ser pesquisada devido ao seu possível potencial de fornecedora de biodiesel (TEIXEIRA e CARVALHO, 2007), produtor de carvão e mais recentemente devido a possibilidade de uso como ração, artesanato e como aglomerados para a construção civil.

O babaçu é uma planta heliófita, de forte presença em mata ciliar, frutífera, com características farmacológicas e industrial e passível de formar sistemas agroflorestais (CEPEM, 2006). A dominância desta espécie em vastas áreas é um caráter atípico das florestas em áreas tropicais e decorre de sua alta resistência ao fogo, além de sua grande capacidade de colonizar áreas abertas. Exemplos de sua grande capacidade de disseminação são observados em pastagens recém formadas. Diversos produtores inferem que a presença das palmeiras podem interferir negativamente no crescimento da forrageira. Outros estudos têm demonstrado que pastagem sob a palmeira do babaçu produz mais que a céu aberto (FRANKE E FURTADO, 2001).

A regulamentação por lei, no estado do Maranhão, permite o desbaste somente acima de uma densidade mínima de 156 palmeiras ha^{-1} (lei estadual Nº 4.734 de 1986), enquanto que no Tocantins esse número mínimo é de 80 palmeiras ha^{-1} (lei nº 1.959, de 14 de agosto de 2008). No entanto, esta densidade por definição jurídica é bastante arbitrária e carece de fundamento científico do ponto de vista ecológico, agronômico e zootécnico (ZELARAYÁN et al., 2010).

Apesar de alguns estudos, pouco se sabe sobre as interações entre a palmeira babaçu e a física, a química e a biologia no solo. Infere-se que o babaçu possa ser um agente acumulador de matéria orgânica do solo (MOS) devido à rápida acumulação de biomassa e aos altos teores de ligninas nas suas raízes. Por outro lado, imagina-se também que o babaçu possui grande eficiência na aquisição de nutrientes, que poderia reforçar sua excessiva força competitiva e

resultar em uma diminuição da capacidade de formação de SSP (ZELARAYÁN et al., 2010).

Nos sistemas tradicionais de criação de ruminantes, nas zonas de franco desenvolvimento pecuário, no Sul, Sudeste e Oeste do Pará, Norte de Tocantins e pré-Amazônia maranhense, o babaçu possui presença expressiva e é considerado “praga” invasora das pastagens, havendo esforço para reduzir ao máximo sua presença. Esta prática empobrece o ambiente, quebrar ciclos de nutrientes, prejudicam a interrelação fauna e flora, além de ofertar aos animais espaço deficiente em sombreamento. Contudo, é possível que a presença do babaçu em sistemas pecuária-floresta possa trazer benefícios a interface solo-planta-animal, contribuir para preservação da biodiversidade, incrementar a renda e manter características sócio-econômicas destas regiões.

A criação do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo culminou na afirmação do potencial do SSP como atividades elegíveis para o seqüestro de carbono, ganhando motivação econômica para adoção no meio rural pela comercialização de créditos de carbono (MÜLLER et al. 2009), abrindo mais um mercado para a manutenção do babaçu em áreas exploradas.

Com o estabelecimento pela Lei nº 11.097/2005 que obriga a adição de biodiesel ao combustível do petróleo (ANP, 2009) a produção de biodiesel foi impulsionada e desde então está em contínuo crescimento de modo a estimular a produção ou manutenção de plantas produtoras de óleo vegetal para produção energética como o babaçu (PARENTE, 2003), que não compete diretamente com a alimentação humana.

Além da produção da palmeira e do incremento da renda, os SSP oferecem uma série de benefícios a interface solo-planta-animal, como a melhoria das condições químicas do solo, já que segundo Menezes et al. (2002), o componente arbóreo pode ciclar nutrientes de horizontes mais profundos no solo e aumentar a retenção de água, melhor a qualidade da forragem produzida pelo aumento da DIVMO, PB, melhoria do ambiente de pastejo e conforto dos animais (CASTRO et al. 2008) e melhor distribuição espacial das fezes. Todos estes fatores concorrem para o aumento da capacidade de suporte e maior taxa do lotação, que por sua vez infere em menor pressão para abertura de novas áreas. Entretanto a

magnitudes destas interferências são desconhecidas em SSP com babaçu em ecótono Amazônia:Cerrado.

Recentemente, com a criação do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo culminou na afirmação do potencial do SSP como atividades elegíveis para o seqüestro de carbono, ganhando motivação econômica para adoção no meio rural pela comercialização de créditos de carbono (MÜLLER et al., 2009), abrindo mais um mercado para a manutenção do babaçu em áreas exploradas. Ainda o governo federal instituiu a lei 12.805 de 29 de abril de 2013, que Institui a Política Nacional de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF), no que se refere a liberação de recursos para pesquisa e desenvolvimento e também fomento ao agronegócio voltado as atividades Agropastoril, Agrossilvopastoril, silvipastoril e silvoagrícola.

1.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nos ecótonos amazônico e cerrado há grande potencialidade para a produção pecuária. Eles respondem por mais da metade da produção nacional de carne. Contudo, apesar do potencial há baixa produtividade e elevada degradação. Dentre as alternativas para mitigar estes entraves estar o sistema silvipastoril, que, se bem gerido, pode trazer vantagens e melhorias para o solo, para a pastagem, animais do sistema, ambiente, atmosfera, eficiência de uso dos recursos naturais, sociedade e economia.

Outro fator, é que a disponibilidade de áreas para abertura é cada vez mais escassa e é preciso utilizar manejo que conserve ou recupere as já existentes para promover a sustentabilidade. Nisto os SSP podem ser úteis para assegurar a preservação ou restaurar áreas, pois o controle da degradação reduz a pressão de desmatamento. Atualmente, questões éticas também estão questionando as formas tradicionais de produzir alimentos e o SSP é uma alternativa para atender as reivindicações no âmbito do bem-estar animal e na preservação ambiental.

Já é de conhecimento no mundo científico que os SSP possuem caráter ecológico, podem aumentar a produtividade e assegurar a sustentabilidade. O que pouco se conhece é sobre a construção de tais modelos com espécies nativas, bem como a ciclagem de nutrientes na interface bosque - sub-bosque – solo – animal. O delineamento de modelos de SSP nativos sob preceitos

ecológicos e zootécnicos podem manter a riqueza florística e a fauna da região bem como beneficiar a pecuária. Neste sentido deve-se proceder estudos que enfoquem a permanência ou a reincorporação de arvores nativas nas pastagens cultivadas da região. Este processo, além de beneficiar o sistema produtivo e o ecossistema regional pode complementar receitas e diversificar a economia da região.

1.4 REFERÊCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACHARYA, K.P. Linking trees on farms with biodiversity conservation in subsistence farming systems in Nepal. **Biodiversity and Conservation** v.15, p. 631–646, 2006.

AHMET, T.; VEYSEL, A.; DUYGU, I. Traditional usage of kermes oak (quercus coccifera l.) and pure hair goat (capra hircus l.) in a silvopastoral system on davras mountain in anatolia: constraints, problems and possibilities. **Journal of Animal And Veterinary Advances**. v. 8, n.4, p.1520-1526, 2009.

ALFAIA, S.S.; RIBEIRO, G.A.; NOBRE, A.D.; LUIZAO, R.C.; LUIZAO, F.J. Evaluation of soil fertility in smallholder agroforestry systems and pastures in western Amazonia. **Agroforestry Ecosystems and Enviroment** v.102, p.409–414, 2004.

ANDRADE, C.M.S.; ,VALETIM, J.F.; CARNEIRO, J.C.; Árvores de Baginha (Stryphnodendron guianense (Aubl.) Benth.) em ecossistemas de pastagens cultivadas na Amazônia Ocidental. **Brazilian Jounal Animal Science,** v.3, p.574–582, 2002.

BARRO, R.S.; SAIBRO, J.C.; MEDEIROS, R.B.; SILVA, J.L.S.; VARELLA, A.C. Rendimento de forragem e valor nutritivo de gramíneas anuais de estação fria submetidas a sombreamento por *Pinus elliottii* e ao sol pleno. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, n.10, p.1721-1727, 2008.

BARUCH, Z.; GUENNI, O. Irradiance and defoliation effects in three species of the forage grass Brachiaria. **Tropical Grassland**. 41, 269–276, 2007.

BELSKY, A.J. Effects of trees on nutritional quality of understorey gramineous forage in tropical savannas. **Tropical Grasslands**, v.26, n.1, p.12-20, 1992.

BIRD. P.R.; KELLAS, J.D.; JACKSON, T.T.; KEARNEY, G.A. Pinus radiata and sheep production in silvopastoral systems at Carngham, Victoria, Australia. **Agroforestry Systems,** v. 78, p. 203–216, 2010.

BLACKSHAW, J.K.; BLACKSHAW, A.W.; Heat stress in cattle and the effect of shade on production and behaviour: a review. **Australian Journal Experimental Agriculture,** v. 34, p. 285–295, 1994.

BODDEY, R.M.; MACEDO, R.; TARRE, R.M.; FERREIRA, E.; OLIVEIRA, O.C.; REZENDE, C.P.; CANTARUTTI, R.B.; PEREIRA, J.M.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S. Nitrogen cycling in Brachiaria pastures: the key to understanding the process of pasture decline. **Agriculture Ecosystem Enviroment,** v.103, p.389–403, 2004.

BELLOW, J.G.; HUDSON, R.F.; NAIR, P.K.R.; Adoption potential of fruit-tree-based agroforestry on small farms in the subtropical highlands. **Agroforestry Systems**. v. 73, p. 23–36, 2008.

BUERGLER, A.L.; FIKE, J.H.; BURGER, J.A. Forage nutritive value in an emulated silvopasture. **Agronomy Journal**, v.98, n.5, p.1265-1273, 2006.

CASTILHOS, Z.M.S.; BARRO, R.S.; SAVIAN, J.F.; AMARAL, H.R.B. Produção arbórea e animal em sistama silvipastoril com Acácia negra (*Acacia mearnsii*). **Pesquisa Florestal Brasileira**. n. 60, p.39-47, 2009.

CASTRO, C.R.T.; GARCIA, R.; CARVALHO, M.M.; FREITAS, V.P. Efeitos do Sombreamento na Composição Mineral de Gramíneas Forrageiras Tropicais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, p.1959-1968, 2001.

CASTRO, A.B.; NEIVA, J.M.N.; OLIVEIRA, T.S.; ALVES, A.A. Desempenho produtivo de ovinos mantidos em sistema silvipastoril (coqueiro) no litoral cearense. **Anais...** 43ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2003.

CASTRO, A.C.; LOURENÇO JÚNIOR, J.B.; SANTOS, N.F.A.; MONTEIRO, E.M.M.; AVIZ, M.A.B.; GARCIA, A.R. Sistema silvipastoril na Amazônia: ferramenta para elevar o desempenho produtivo de búfalos. **Revista Ciência Rural**, v.38, n.8, p.2395-2402, 2008.

CARVALHO, M.M; BOTREL, M.A. Arborização de pastagens: um caminho para a sustentabilidade de sistemas de produção animal a pasto. In: FORRAGICULTURA E PASTAGENS: TEMAS EM ENVIDÊNCIA, 3. 2002, Lavras. **Anais**. Lavras: Editora UFLA, p.31-76, 2002.

CEPEM – **Centro de Pesquisas Eco-naturais**: Disponível em: http://www.cepen.com.br/arv_nat_glossario_ho.htm. Acesso em: 25/10/2010.

CRESPO G. Importance of the silvopastoral systems to keep and restore soil fertility in tropical regions. **Cuban Journal Of Agricultural Science.** v. 42, n. 4, p. 321-327, 2008. Resumo.

DEVKOTA, N.R.; KEMP, P.D.; HODGSON, J.; VALENTINE, I.; JAYA, I.K.D. Relationship between tree canopy height and the production of pasture species in a silvopastoral system based on alder trees. **Agrofor. Syst**. v. 76, p. 363–374, 2009.

DIAS FILHO, M.B. **Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação**. 2 ed. Embrapa Amazônia Oriental, 2005, 173p .

FERREIRA, R.A.; ESTRADA, L.H.C.; THIÉBAUT, J.T.L.; GRANADOS, L.B.C.; SOUZA JÚNIOR, V.R.; Avaliação do comportamento de ovinos santa inês em sistema silvipastoril no norte fluminense. **Ciência agrotecnica,** v. 35, n. 2, p. 399-403, 2011.

FRANKE, I.L.; FURTADO, S.C. **Sistemas silvipastoris: fundamentos e aplicabilidade**. Rio Branco. Embrapa Acre 74, 2001. 7-30p.

FREIRE, J.L.; DUBEUX JÚNIOR, J.C.B.; LIRA, M.A.; FERREIRA, R.L.C.; SANTOS, M.V.F.; FREITAS, E.V. Decomposição de serrapilheira em bosque de sabiá na Zona da Mata de Pernambuco. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, n.8, p.1659-1665, 2010.

GRANDIS, A.; GODOI, S.; BUCKERIDGE, M.S.; Respostas fisiológicas de plantas amazônicas de regiões alagadas às mudanças climáticas globais. **Revista Brasileira Botânica**. v.33, n.1, p.1-12, jan.-mar. 2010.

GUEVARA-ESCOBAR, A.; KEMP, P.D.; MACKAY, A.D.; HODGSON, J. Pasture production and composition under poplar in a hill environment in New Zealand. **Agroforestry Systems**. v. 69, p.199–213, 2007.

GUIMARÃES FILHO C.; SOARES, J.G.G.; ALBUQUERQUE, J.A.S. **Frutiovinocultura: consorciação de fruteiras com ovinos**. Embrapa Semi-Árido. Circular Técnica 52, Petrolina-PE, 2000.

HERRERA, J.; HERNANDEZ, A.; NODA AINDA, C. Preliminary study on the feeding performance of dairy goats in a silvopastoral system. **Cuban Journal Of Agricultural Science**. V. 41, n. 4, p.309-312, 2007.

HOWLETT, D.S.; MORENO, G.; LOSADA, M.R.M.; RAMACHANDRAN, P.K.; NAIRD, V.D. Soil carbon storage as influenced by tree cover in the Dehesa cork oak silvopasture of central-western Spain. **Journal of Environmental Monitoring**. v. 13, p. 1897–1904, 2011.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espacias**. Estimativa das emissões de CO^2 por desmatamento na amazônia brasileira**. Relatório técnico sintético. 2009. Disponível em: <http://www.inpe.br/>. Acesso: Out. 2013.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. **Climate change 2001**: The scientific basis. Cambridge, Cambridge University Press, 881p. 2001.

JOHNSON, J.E.; DELGADO, O.J. Agroforestry adoption potential in Cape Verde. **Small Scale for Econ Manag Policy.** v. 4, p. 205–214, 2005.

KALLENBACH, R.L.; KERLEY, M.S.; BISHOP-HURLEY, J.G.; Cumulative forage production, forage quality and livestock performance from an annual ryegrass and cereal rye mixture in a pine–walnut silvopasture. **Agroforestry Systems,** v. 66, p. 43–53, 2006.

KEPHART, K.D.; BUXTON, D.R. Forage quality responses of C3 and C4 perennial grasses to shade. **Crop Science**, v.33, p.831- 837, 1993.

KNOWLES RL, HAWKE MF, MACLAREN JP (1992) Agroforestry research at Tikitere. NZ Forest Research Institute

KURZ-BESSON, D.C.; OTIENO, R. LOBO DE VALE, R. SIEGWOLF, M. SCHMIDT, A. HERD, C. NOGUEIRA, T. S. DAVID, J. S. DAVID, J. TENHUNEN, J. SANTOS-PEREIRA AND M. CHANVES, **Plant Soil**, 2006, 282, 361.

LANNA, G.R.; LANA, A.M.Q.; MAURÍCIO, R.M.; LANA, R.M.Q.; MACHADOR.M.; BORGES, I.; QUINZEIRO NETO,T. Influence of trees on soil nutrient pools in a silvopastoral system in the Brazilian Savannah. **Plant Soil** v.329, p. 185–193, 2010.

LIN, C.H.; MCGRAW, R.L.; GEORGE, M.F. Nutritive quality and morphological development under partial shade of some forage species with agroforestry potential. **Agroforestry Systems**, v.53, p.269-281, 2001.

LOVETT, P.N.; HAQ, N. Diversity of the Sheanut tree (Vitellaria paradoxa C.F. Gaertn.) in Ghana. **Genetical Reseach Crop Evolution,** v. 47, p. 293–304, 2000.

MACEDO, M.C.M. Pastagens no ecossistema Cerrados: evolução das pesquisas para o desenvolvimento sustentável. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 42., 2005, Goiânia. **Anais**. Goiânia: SBZ/UFG, p.56-84, 2005.

MARNEY E.I.; ANTHONY K.A. Diagnosis of Nutrient Imbalances with Vector Analysis in Agroforestry Systems. **Journal of Environmental Quality**. v. 40, n. 3, p. 860-866, 2011.

MCNEELY, J.A.; SCHROTH, G. Agroforestry and biodiversity conservation-traditional practices, present dynamics and lessons for the future. **Biodivers. Conserv.** v. 15, p. 549–554, 2006.

MORENO MARCOS, J.J.G.; OBRADOR, E.; GARCIA, E.; CUBERA, M. J.; MONTERO, F.; DUPRAZ, P.C. **Agroforestry Systems**, 2007, 70, 25.

MÜLLER, D.M.; FERNANDES, E.N.; CASTRO C.R.T.; PACIULO, D.S.C.; ALVES, F.F. Estimativa e acúmulo de biomassa em sistema agrosilvipastoril na Zona da Mata Mineira. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n.60, p.11-17, 2009.

MUNIZ, F.H. A vegetação da região de transição entre a Amazônia e o nordeste, diversidade e estrutura. In: De MOURA,E.G. **Agroambientes de transição avaliados numa perspectiva da agricultura familiar**. Programa de Pós-Graduação em Agroecologia da Universidade Estadual de Maranhão – MA, 2004. p.53-69.

MÜLLER, D.M.; FERNANDES, E.N.; CASTRO C.R.T.; PACIULO, D.S.C.; ALVES, F.F. Estimativa e acúmulo de biomassa em sistema agrosilvipastoril na Zona da Mata Mineira. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n.60, p.11-17, 2009.

NAIR, P. K. Agroflorestal systems and environmental quality: introduction. **Journal of Environmental Quality.** v. 40, n. 3, p. 784-790, 2011.

NEPSTAD, D.C.; MOUTINHO, P.R.S.; MARKEWITZ, D. (2001) The recovery of biomass, nutrients stocks, and deep soil functions in secondary forests. In: MCCLAIN, M.; VICTORIA, R.; RICHEY, J. **Biogeochemistry of the Amazon**. Oxford University Press. London. 416 p.

OLIVEIRA, T.K.; MACEDO, R.L.G.; SANTOS, I.P.A.; HIGASHIKAWA, E.M.; VENTURIN, N. Produtividade de *brachiaria brizantha* (hochst. Ex a. Rich.) Stapf cv. Marandu sob diferentes arranjos estruturais de sistema agrossilvipastoril com eucalipto. **Ciênc. agrotec**. v. 31, n. 3, p. 748-757, 2007.

OADES, J. M.; WATERS, A.G.; AUST. J. **Soil Reseach**. 1991, 29, p.815.

ORMAZABAL, C.S. Silvopastoral systems in arid and semiarid zones of northern chile. **Agroforestry Systems .** v. 14, n.3, p.207-217, 1991.

PACIULLO, D.S.C.; CARVALHO, C.A.B.; AROEIRA, L.J.M.; MORENZ, M.F.; LOPES, F.C.F.; ROSSIELLO, R.O.P. Morfofisiologia e valor nutritivo do capim-braquiária sob sombreamento natural e a sol pleno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.4, p.573-579, 2008.

PACIULLO, D.S.C.; CASTRO, C.R.T.; GOMIDE, C.A.M.; MAURÍCIO, R.M.; PIRES, M.F.A.; MÜLLER, M.D.; XAVIER, D.F. Performance of dairy heifers in a silvopastoral system. **Livestock Science**, v. 10, n. 05, p. 0-12, 2011.

PERI, P.L.; MASON, E.G.; POLLOCK, K.M. Early growth and quality of radiata pine in a silvopastoral system in New Zealand. **Agroforestry Systems.** v. 55, n. 3, p. 207-219, 2002. Resumo.

POWER, I.L.; THORROLD, B.S.; BALKS, M.S. Soil properties and nitrogen availability in silvopastoral plantings in Acacia melanoxilon in North Island, New Zealand. **Agroforestry Systems**. v. 57, p. 225–237, 2003.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fotossíntese: as reações luminosas **Fisiologia vegetal**.. Porto Alegre: Artmed, p.139-169, 2004.

OUINSAVI, C.; SOKPON, N.; BADA, S.O. Utilization and traditional strategies of in situ conservation of iroko (Milicia excelsa Welw. C.C. Berg) in Benin. **Forage Ecology Management,** v. 207, p. 341–350, 2005.

SAHA S. K. P.; K. R. NAIR, V. D. NAIR AND B. M. KUMAR, **Plant Soil**, 2010, 328, 433.

SCHROTH, G.; FONSECA, G.A.B.; HARVEY, C.A.; GASCON, C.; VASCONCELOS, H.L.; IZAC, A.M.N. **Agroforestry and biodiversity conservation in tropical landscapes**. Island Press, Washington, p. 523, 2004.

TEIXEIRA, M.A.; CARVALHO, M.G.. Regulatory mechanism for biomass renewable energy in Brazil, a case study of the Brazilian babassu oil extraction industry. **Energy**, v.32, p.999-1005, 2007.

VODOUHE, G. F..; COULIBALY, O.; BIAOU, G.; SINSIN, B. Traditional agroforestry systems and biodiversity conservation in Benin (West Africa). **Agroforestal Syst**al. v. 82, p. 1–13, 2011.

WAIRIU, M.; MULLINS, C.E.; CAMPBELL, C.D. Soil physical factors affecting the growth of sycamore (acer-pseudoplatanus l) in a silvopastoral system on a stony upland soil in northeast scotlan. **Agroforestry Systems**. v. 24, n.3. p. 295-306, 1993.

YAMAMOTO, W.; DEWI, I.A.; IBAHIM, M. Effects of silvopastoral areas on milk production at dual-purpose cattle farms at the semi-humid old agricultural frontier in central Nicaragua. **Agriculture Systems**. v. 94, p. 368–375, 2007.

ZELARAYÁN, M.L.C.; DADALTO, D.L.; DIAS, C.W.S.; NASCIMENTO, A.M.A.; OLIVEIRA, A.S.; ALMEIDA, R.B.; GEHRING, C. A palmeira babaçu (Arecaeae: A*ttalea speciosa* Mart) influencia o acúmulo de matéria orgânica e o sequestro de carbono no solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS. 29. 2010. Espirito Santos, **Anais**. Espírito Santo: FERTIBIO, 2010. (in press).

ZUCCA, C.; CANU, A.; PREVITALI, F. Soil degradation by land use change in an agropastoral area in Sardinia (Italy). **Catena.** v. 83, p. 46–54, 2010.

2.0 ABORDAGEM MULTIVARIADA E GEOESTATÍSTICA DE ATRIBUTOS DO SOLO. EFEITO DE POUSIO E CONVERSÃO DE FLORESTA SECUNDÁRIA EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS

RESUMO

Sistemas agroflorestais (SSP) podem replicar muitas da características dos ecossistemas naturais, de modo a promover a conservação do solo dentre outros benefícios. Estes sistemas podem tanto restaurar áreas degradadas como manter as condições de fertilidade do solo. Assim, o objetivo foi diagnosticar se a adoção de SSP em floresta secundária promove a conservação de atributos do solo, mantendo-o semelhante a floresta nativa, ou se permite a alteração de suas características. Ainda, objetivou-se evidenciar, por meio de análises multivariadas, quais atributos do solo são mais afetados pelo tipo de uso. Assim, conduziu-se um estudo onde foi realizada a conversão de uma floresta secundária de babaçu em dois sistemas silvipastoris com 30 e 60% de sombreamento e comparou com um sistema de pastagem em monocultivo. Estes sistemas foram comparados com floresta primária. Para verificar se os SSP promovem a conservação do solo foram avaliados os atributos químicos: pH, Ca, Mg, K, P, Al, H, SB, CTC (t e T), V%, m% e matéria orgânica; os atributos físicos: resistência penetração, temperatura e umidade; e o atributo biológico: respiração edáfica do solo. Estes dados foram submetidos a análises estatísticas clássicas, multivariadas e a geoestatística. Foi observado que o abandono de áreas sob pastagem e a posterior revegetação natural com palmeiras de babaçu promove a restauração das condições de fertilidade do solo ao longo do tempo, tornando-o semelhante a floresta. A implantação de sistemas silvipastoris com 60% de sombreamento (baixa intensidade de raleamento) permite a manutenção das condições químicas, físicas e biológicas do solo sob floresta secundária semelhante as da floresta nativa. Já sistemas silvipastoris com 30% de sombreamento (maior intensidade de raleamento) modificam a condição de fertilidade recuperada durante o pousio, reduzindo a fertilidade e alterando negativamente as condições físicas e biológicas do solo, tornado-o semelhante ao sistema de monocultivo. De modo geral torna-se mais proveitoso transformar pastagem sob monocultivo em sistema silvipastoril do que modificar a floresta secundária, a não ser quando a área desta floresta deva voltar a compor as áreas exploradas. De modo geral, o estabelecimento de um sistema silvipastoril com espécies nativas reduz, mantém ou aumenta as condições de fertilidade do solo em relação a floresta natural dependendo da forma de implantação e condução de tal sistema. Os principais atributos do solo que são modificados quanto sua cobertura natural é substituída por pastagem cultivada, quando a pastagem é abandonada e a área sofre revegetação natural e quando esta é raleada para compor sistemas agroflorestais são: a matéria orgânica do solo; a soma de bases; a capacidade de troca de cátions; a temperatura e a umidade do solo e a resistência a penetração. Logo estas características podem ser consideradas como parâmetros para indicar a qualidade do solo. De modo geral, os atributos químicos são mais afetados pelo tipo de uso.

Palavras Chave: Sistema silvipastoril, manejo e conservação do solo, fertilidade do solo, monocultivo, degradação do solo.

ABSTRACT

Agroforestry systems can theoretically replicate many of the features of natural ecosystems undisturbed, in order to promote soil conservation among other benefits. In this sense, these systems can both restore degraded areas to maintain the conditions of soil fertility when forests are converted to silvopastoral systems. Thus, the aim of this study was to diagnose whether the adoption of SPS in secondary forest promotes conservation of soil, keeping it similar to pristine forest, or allows you to change its characteristics as in the conventional system of exploitation to pasture . Also aimed to demonstrate, by means of multivariate analysis, which soil attributes are most affected by land use, and studied the formation of classes of land use depending on the type of coverage, considering chemical, physical and biological parameters soil. To address these issues we conducted a study where the conversion of a secondary forest babassu two silvopastoral systems with 30 and 60% shading (moderate and high level of shadow respectively) and a system of grazing in monoculture was performed. These systems were compared with primary forest. To verify that the SSP promote soil conservation and chemical attributes were evaluated: pH, Ca, Mg, K, P, Al, H, SB, CTC (te T), V% m% and organic matter; physical attributes: penetration resistance, temperature and humidity; and biological attribute: soil respiration soil. These data were submitted to classical, multivariate statistical analysis and geostatistics. It was observed that the abandonment of areas under pasture and the subsequent natural revegetation with babassu palm promotes the restoration of conditions of soil fertility over time, making it similar to forest. The implementation of silvopastoral systems with 60% shading (low intensity thinning) allows the maintenance of the chemical, physical and biological conditions of the secondary forest soil similar to the native forest. Have silvopastoral systems with 30% shading (higher intensity of thinning) change the condition of recovered fertility during fallow, reducing fertility and negatively altering the physical and biological conditions of the soil, making it similar to the monoculture system. Generally becomes more profitable to turn a grassland under monoculture silvopastoral system to modify a secondary forest, unless the area of this forest should go back to compose the exploited areas. In general, if the establishment of a silvopastoral system with native species reduces, maintains or increases the conditions of soil fertility in relation to natural forest depends on the establishment and management of such a system. The main soil properties that are modified as a natural cover is replaced by cultivated pasture, when pasture is abandoned and the area suffers natural revegetation and when it is thinned to compose agroforestry are: soil organic matter; the sum of bases; the cation exchange capacity; temperature and soil moisture and penetration resistance. Logos these characteristics can be considered as parameters to quantify the quality of the soil. In general, the chemical attributes are most affected by land use.

Key words: silvipastoral, management and soil conservation, soil fertility, monoculture, soil degradation system

2.1 INTRODUÇÃO

A abertura de áreas sob vegetação nativa no ecótono Cerrado-Amazônia para implantação de pastagens, de forma negligenciada, quanto a aptidão, preparo, implantação e manutenção de pastagens cultivadas, tem promovido a degradação da forrageira e do solo (LIMA et al., 2013) e o abandono destas áreas vem alavancando a abertura de áreas novas de fronteira pecuária rumo ao ambiente amazônico.

Nas áreas abandonadas ocorre o processo de revegetação natural, caracterizado pelo surgimento de capoeiras, primeiramente, e em seguida de florestas secundárias (SCHROTH et al., 2002). Estas florestas tendem a melhorar as condições fisicoquímicas do solo, podendo promover o retorno a condição natural devido a estruturação e ciclagem biogeoquímica de nutrientes (VALLEJO et al., 2010). Nas regiões de ecótono Cerrado- Amazônia as florestas secundárias são compostas, em grande parte por palmeiras de Babaçu (*Attalea speciosa*, Mart) (ALFAIA et al., 2004).

Devido a pressão por abertura de novas áreas nos trópicos as comunidades científicas de preservação ambiental e produção de alimentos encaram o desafio de reduzir o desmatamento e aumentar a produção de *commodities* (PERIN et al., 2011). Neste sentido, uma possível alternativa, para mitigar tais problemas, seria a reutilização de áreas abandonadas, composta por floresta secundária de babaçu de modo a compor sistemas agroflorestais, como sistemas silvipastoris (SSP) alternativos (LIMA et al., 2013).

Os SSP são promissores por diminuírem a pressão da pecuária sobre as áreas de vegetação nativa, melhorar ou manter a fertilidade do solo e atuar na conservação e/ou restauração dos atributos fisicoquímicos e biológicos do solo (TORNQUIST et al., 1999; PERIN et al., 2011; LIMA et al., 2013). Neste sentido é possível que pastagens implantadas em áreas regeneradas de floresta secundária sob a ótica conservacionista dos SSP não mais retornem ao estado de degradação do solo existente na ocasião do uso sob pastagem em monocultivo devido a revitalização de funções como a proteção do solo e a ciclagem de nutrientes (SILVA et al., 2012; MacDICKEN e VERGARA, 1990; BLINN et al., 2013; VIEIRA, 1998; GUERRA, 2010; SCRHOTH et al., 2002).

Os principais efeitos dos SSP para o solo são de proteção das copas das árvores, que contribuem para a redução do processo erosivo, por reduzirem o impacto das chuvas; o sistema radicular das árvores forma barreiras, diminuindo a lixiviação; há absorção dos nutrientes das camadas mais profundas, onde parte destes são depositados na camada superficial do solo, melhorando suas propriedades químicas; há geração de ambientes com microclima, que pode beneficiar a biota do solo; há diminuição da demanda evaporativa das plantas herbáceas elevando o teor de umidade do solo (FRANKE e FURTADO, 2001; LIMA et al., 2013; SILVEIRA, 2007; HOWLETT et al., 2011; OADES e WATERS 1991; PERIN et al., 2011; PACIULLO et al., 2008; SOARES et al., 2009).

Em relação às condições físicas do solo tem-se a resistência a penetração como fator qualificador do solo, com capacidade de resposta a perturbações do ambiente. A compactação do solo depende de muitos fatores, como: granulometria, teor de água, quantidade e frequência de aplicação de cargas e conteúdo de MO (GUERRA, 2010). Dentre estes fatores, a MO é manipulável, possui a capacidade de dissipar as pressões exercidas sobre a superfície, favorecendo a resiliência do solo e é beneficiada por SSP. Logo, áreas integradas podem ser menos susceptíveis a compactação do solo, apresentando menores valores de resistência a penetração e densidade do solo que áreas sob monocultivo de pastagem (ARAÚJO et al., 2007).

A respiração dos solos (RS) representa a atividade metabólica de respiração por processos biológicos oriundos de atividade microbiana do solo, e é um fator de alta responsividade a alterações no solo (PAUDEL et al., 2011). O tipo de uso do solo pode alterar o balanço entre sequestro e emissão de C (SILVA et al., 2012). Como os sistemas naturais (florestas) encontram-se mais próximo do equilíbrio, as entradas e saídas de C na interface solo-planta podem ser mais balanceadas. Desta forma, os SSP, por se parecerem mais com ambientes naturais, podem apresentar maior equilíbrio no fluxo de C do solo que pastagens em monocultivo, que, por sua vez podem apresentar elevadas taxas de respiração (ASSIS JÚNIOR, 2003).

Para saber se os SSP são capazes de conservar as características dos solos, evitando sua degradação fisicoquímica e biológica, torna-se necessário diagnosticar atributos químicos, físicos e biológicos do solo sob diferentes usos,

como sistema convencional de pastagem (monocultivo), os sistemas integrados e a floresta, que serve como um padrão da condição natural. Neste sentido torna-se coerente lançar mão do uso de análises de variabilidade espacial dos atributos do solo em função do tipo de uso (LANDIM, 2006; NEVES NETO, 2013; CERRI et al., 2004), já que a variação dos atributos pode não ser aletória e variar de acordo a distância a elementos específicos de ineterferência.

Técnicas geoestatística estão sendo usadas na ciência do solo para estudos sobre a variação espacial de atributos do solo em função do uso (LANDIM, 2006). Estas técnicas têm proporcionado caracterizar e quantificar a variação espacial e têm sido usadas para processar informações racionais para interpolação, que tem sido aplicada para estimar o variância dos valores interpolados (CERRI et al., 2004).

Como a qualidade do solo não pode ser totalmente expressa por uma ou algumas poucas características, torna-se mister que atributos de diferentes gêneros sejam considerados nos diagnósticos (PAUDEL, ADAWATTA e ANDERSON, 2011) e para isso é necessário o uso de técnicas multivariadas, que podem agrupar o solo em classes, utilizando múltiplas variáveis e identificar quais atributos são mais afetados por algum tipo de uso (MINASNY & MCBRATNEY, 2002; VICINI, 2005).

Diante do exposto, o objetivo com este estudo foi diagnosticar se a adoção de SSP em floresta secundária promove restauração e conservação de atributos do solo, mantendo-o semelhante a floresta ou se permite a alteração de suas características, como no sistema convencional de exploração a pasto. Ainda, objetivou-se evidenciar, por meio de análises multivariadas, quais atributos do solo são mais afetados pelo tipo de uso e cobertura, considerando indicadores químicos, físicos e biológicos.

2.2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.2.1 Localização

As áreas investigadas localizam-se na fazenda da Escola de Medicina Vetrinária e Zootecnia da Universidade Federal do Tocantins, Campus de Araguaína –TO, entre os paralelos 9213700 e 9213900 UTM-NS e meridianos 810500 e 810780 UTM-EW. De acordo com a classificação Köppen (1948) o clima da região é classificado como Aw (quente e úmido) com precipitações anuais médias de 1800 mm, temperaturas máximas de 40ºC, mínimas de 18ºC e média de 28ºC. A umidade relativa do ar média anual é de 76%. Em solo classificado, de acordo com o SiBCS (Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – EMBRAPA, 2006), como Argissolo Vermelho Eutrófico, foram implantadas pastagens integradas (Babaçu e capim Mombaça) e pastagem sob monocultivo (capim Mombaça).

Os atributos físico-químicos do solo (camada de 0-20) por ocasião de pré-implantação das pastagens (Agosto de 2011) são apresentados na Tabela 1. Uma área sob floresta secundária originou os sistemas integrados floresta-pasto. Uma capoeira originou a pastagem em monocultivo e a floresta nativa serviu de parâmetro da condição natural. O solo de toda a área experimental foi classificado como fértil (ALVAREZ et al., 1999), havendo poucas diferenças entre os atributos nas áreas que geraram os diferentes sistemas.

Tabela 1. Características químicas e físicas de Argissolo Vermelho eutrófico sob floresta secundária, capoeira em estado de revegetação natural e floresta nativa. Atributos avaliados na camada de 0 – 20 cm de profundidade.

Áreas	MO[(1)]	pH	P	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	H^++Al^{3+}	Al^{3+}	SB[(2)]	CTC[(3)]	CTC[(4)]
	g dm^{-3}	$CaCl_2$	---mg dm^{-3}---		------ $cmol_c$ dm^{-3}-----				-----$cmol_c$ dm^{-3}-----		
CP	28,33	5,49	11,87	66,02	9,02	1,95	2,23	0,0	11,14	13,37	11,14
FS	35,82	5,06	15,24	60,54	9,40	2,42	3,78	0,0	11,97	15,75	11,97
FN	30,30	5,10	17,56	62,12	10,61	2,64	4,92	0,0	13,40	18,32	13,40

	V[(5)]	m[(6)]	Dens. Ap.[(8)]	Areia	Silte	Argila	EC_1	Clas. Text.[(9)]
	----------%----------		g cm^{-3}	----------%----------			Mg ha^{-1}	
CP	83,61	0,00	1,06	51	11	38	60,05	Argi Aren
FS	79,53	0,00	0,98	53	9	38	70,20	Argi Aren
FN	85,13	0,00	0,96	42	12	36	57,60	Argi Aren

CP: capoeira; FS: floresta secundária; FN: floresta nativa. [(1)] MO: matéria orgânica, SB[(2)]: soma de bases; CTC[(3)]: capacidade de troca de cátions pH 7; CTC[(4)]: capacidade efetiva de troca de cátions, [(5)] V: saturação por bases, [(6)] m:

saturação por alumínio, (8) Dens. Ap.: densidade aparente, (9) Clas. Text.: classe textural. Argi Aren: Argila Arenosa. EC_1: Estoque de Carbono inicial.

2.2.1 Preparo das áreas

A área total sob estudo tem histórico de abertura de mais de 25 anos, com uso de fogo e posterior implantação de pastagem cultivada, não adubada e não manejada. Parte da área foi abandonada logo após degradação do pasto, dando origem a uma floresta secundária com forte presença da palmeira Babaçu (*Attalea speciosa*, Mart) em sua composição florística. A outra parte da área foi utilizada até o ano de 2005, sendo também abandonada, dando origem a uma capoeira.

Nas áreas sob floresta secundária de Babaçu foram estabelecidos dois sistema de integração floresta-pasto, caracterizando dois sistemas silvipastoris (SSP) com as espécies arbóreas nativas (Babaçu) e a gramínea *Panicum maximum* Jacq. cv. Mombaça, conforme metodologia de Tornquist et al. (1999). Estas áreas foram raleadas preservando-se as palmeiras. Uma primeira área foi raleada até obter-se 60% de sombreamento, dando origem ao SSP 60: alto nível de sombreamento (PACIULLO et al., 2011; GUENNI et al., 2008) para a gramínea. Já uma segunda área foi raleada até obter-se 30% de sombreamento, (nível moderado de sombra) (OLIVEIRA et al., 2013) dando origem ao SSP 30. A radiação mensurada foi a global (direta + difusa). No preparo destas áreas foi realizado o desbaste manual das espécies arbóreas concorrentes com o babaçu de forma aleatória. Para isso utilizou-se machado e moto-serra. Também foi realizada a destoca (remoção da base dos caules das árvores) das áreas. A biomassa derrubada foi removida das áreas.

O ajuste do sombreamento de cada área foi realizado a partir da tomada da medida de iluminância (Lux) com o auxílio do luxímetro, modelo LD 200 *Instrutherm* (radiação global). Estas medições foram realizadas em 50 pontos georreferenciados dentro de cada sistema em malha (grid) (CERRI et al., 2004) construída de forma equidistante e representativa (8 x 8), que também serviu para a coletas dos dados dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo (Figura 1a). As leituras de luz foram realizadas entre as 11:30 am e 13:00 pm, com sol a pino, sendo comparadas com leituras a sol pleno (SP), de forma simultânea em todas as áreas. A partir destas mensurações foi calculada a porcentagem de sombreamento em cada área, sendo: 100-{(leitura no SSP/leitura SP)*100}

(SILVA NETO, 2012). As leituras ocorreram durante o processo de abertura das áreas (raleamento), orientando a necessidade ou não de remoção de árvores em zonas distintas, após a abertura e limpeza completa das áreas e periodicamente (em média a cada dois meses) durante o período experimental.

A área com capoeira foi roçada e tratada com herbicida (Glifosato®), dando origem ao sistema convencional de produção à pasto: Sol Pleno (monocultivo), onde não havia a existência de árvores. A biomassa roçada também foi removida da área. A área sob floresta nativa foi mantida inalterada. As dimensões de cada área (sistema) foram: Sol Pleno: 6.500 m², SSP 30: 7.042,2, SSP 60: 7.526,2 m² e floresta nativa: 1000 m².

A disposição dos sistemas, o grid de coleta de atributos mensuradas no solo e os níveis de sombreamento, bem como a variabilidade espacial da sombra, estão apresentados na Figura 1 A e B.

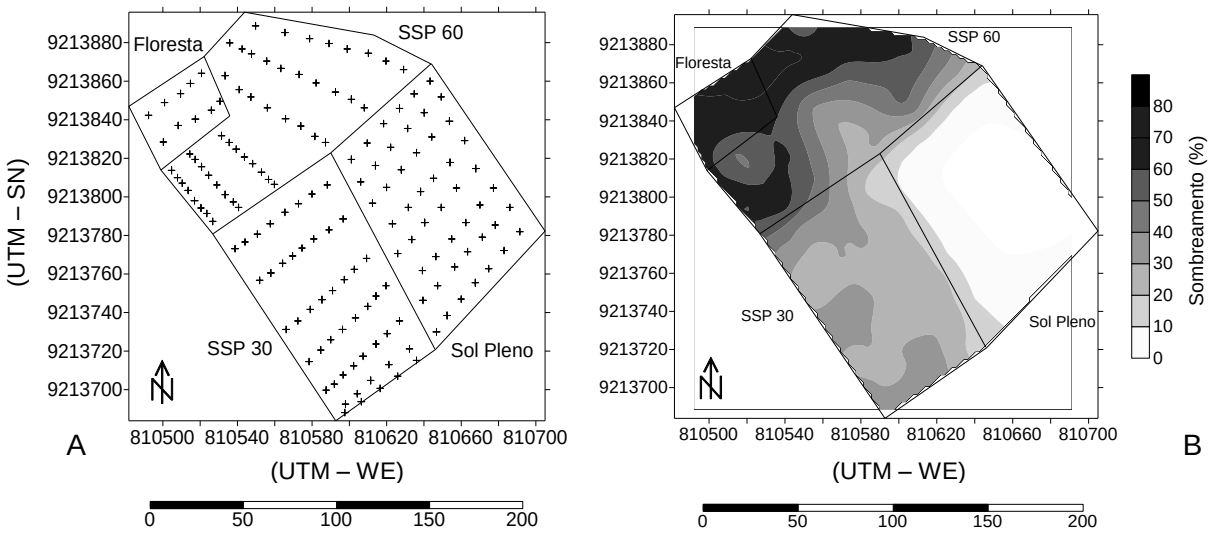


Figura 1. Mapa de contorno, disposições das áreas e malha de coletas de dados (a); mapa de isolinhas dos níveis de sombreamento (b) dos sistemas silvipastoris de capim mombaça + babaçu com 30 e 60% de sombreamento (SSP 30 e SSP 60), do monocultivo de capim Mombaça (Sol Pleno) e da floresta nativa.

2.2.3 Correção, adubação e plantio

Na área total do referido estudo, excetuando-se a floresta nativa, após realizado o diagnóstico inicial da condição química do solo (Tabela 1), foi efetuado o manejo de adubação para implantação da forrageira. Assim, foi distribuído o equivalente a uma tonelada ha^{-1} de calcário dolomítico nas áreas sob integração

e em sol pleno, com antecedência de 60 dias ao plantio do capim, já que as áreas integradas encontravam-se próximas a condição de potencial de carga zero (pH em H_2O = pH em CaCl), além de servir para homogeneizar a saturação por bases. Ainda foram aplicados, antes do plantio do capim, 120 kg de potássio (K - KCl), para elevar o teor de K entre 80 – 120 mg dm^{-3} (classificação agronômica: Bom) e 100 kg de fósforo (P – superfosfato simples) para elevar os valores de P entre 20 e 30 mg dm^{-3} (classificação agronômica: Muito Bom). A duabação adotada, excedente a recomendação, foi empregada devido a condição de equilíbrio das cargas do solo (potencial de carga zero: pH em H_2O = pH em CaCl).

A adubação nitrogenada foi de 100 kg ha^{-1}de nitrogênio (N – ureia), independente da área, realizada na fase de estabilização (cobertura) da gramínea conforme recomendação de Collier et al. (2008), quando as plantas se encontravam com 5 a 8 perfilhos e de 2 a 3 folhas expandidas $perfilho^{-1}$. Corretivos e fertilizantes foram distribuídos manualmente, sem incorporação.

A gramínea implantada em todos os sistemas foi o *Panicum maximum* cv. Mombaça. O plantio, em novembro de 2011 foi realizado de forma manual, a lanço, a uma taxa de semeadura de 7 kg ha^{-1} de sementes puras viáveis. Em março de 2012, com a pastagem implantada, deu-se início ao uso das áreas com pastejo por bovinos em regime de lotação intermitente e corte mecânico da forrageira nas fases de coleta dos dados, como ferramenta de controle da altura do dossel. Em Outubro de 2012 utilizaram-se as áreas para pastejo com ovinos em regime de lotação contínua (altura controlda em 50 cm). Em fevereiro de 2013 foi realizado novamente o diagnóstico de atributos do solo.

2.2.4 Coleta de dados

Para a realização do diagnóstico do solo após a implantação da pastagem e seu uso, foi construída uma malha regular (grid) com pontos georreferenciados para a coleta de dados (CERRI et al., 2004). Em cada sistema de manejo, integrado ou em monocultivo foram levantados cinquenta pontos. Na floresta nativa foram levantados dez pontos amostrais. Em cada um destes pontos foi realizada a análise de solo nas profundidades de 0-7, 8-14 e 15 a 30 cm de profundidade (CERRI et al., 2004), por ocasião do término do período experimental (um ano). A avaliação da umidade do solo e sua temperatura foram

realizada mensalmente; a mensuração da respiração do solo foi realizada nos meses de outubro e dezembro de 2012 e fevereiro de 2013, nos períodos diurno e noturno e a mensuração da resistência a penetração foi realizada no final do experimento. Todos os atributos foram mensurados nos pontos do grid.

2.2.5 Análise de fertilidade do solo

Após a coleta das amostras de solo à campo, o material foi seco ao ar e peneiradas em peneira de malha de 2,0 mm e então obtidas amostras de terra fina seca ao ar (TFSA) para posteriores análises químicas no Laboratório de Solos da UFT de acordo com o manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes da EMBRAPA (SILVA, 2006). Em cada uma das amostras foram determinados os valores de: pH (em $CaCl_2$), Fósforo disponível (P) (mg dm^{-3}), Potássio trocável (K^+) (mg dm^{-3}), extraído em solução Mehlich 1 e quantificados em espectrofotometria e fotometria de chama, respectivamente; Cálcio trocável (Ca^{2+}), Magnésio trocável (Mg^{2+}), Alumínio trocável (Al^{3+}) em extração com KCl a 1 Mol L^{-1}, quantificados por titulação e Matéria Orgânica solo (mg dm^{-3}), quantificada por oxidação por dicromato de K. A partir destes valores foram calculados a capacidade de troca de cátions efetiva, CTC (t) e a pH 7, CTC (T), a soma de bases (SB), a saturação por alumínio (m%) e a saturação por bases (V%). Atributos granulométricos não foram mensurados porque estes tipos de uso do solo normalmente não interferem nestas propriedades, sendo que a variação é causada por processos naturais intrínsecos a formação dos solos (CERRI et al., 2004).

2.2.6 Umidade e temperatura do solo

Para a determinação da umidade do solo (conteúdo de água no solo), foram coletadas amostras de solo de 0 - 20 cm de profundidade. Após as coletas, as amostras foram acondicionadas e levadas ao laboratório. O material foi pesado, colocado em recipientes metálicos e secos em estufa a 105°C por 24 horas (GUERRA, 2010). O conteúdo de água no solo foi determinado pela diferença do peso da massa de solo úmido e peso da massa de solo seco e foram expressos em porcentagem. Utilizou-se a fórmula: U = (Pu – Ps) / Ps x 100, onde U = umidade, Pu = peso do solo úmido e Ps = peso do solo seco, (TEDESCO et.

al., 1995). A temperatura do solo foi medida na superfície (5 cm de profundidade) com auxílio de termômetro digital. As medidas foram tomadas sempre as 10 horas da manhã e nunca durante ou imediatamente após a ocorrência de chuvas. As coletas eram realizadas na malha do grid de coleta à intervalo mensal.

2.2.7 Respiração do solo

A respiração edáfica do solo, oriunda da atividade microbiológica, foi quantificada utilizando-se o método descrito por Grisi (1978), onde o CO_2 liberado em uma área do solo é capturado por uma solução de KOH 0,5 N e quantificado por titulação com HCl 0,1 N de acordo com Morita e Assumpcão (1993).

Para captação do CO_2 desprendido do solo foram distribuídos, nos pontos georreferenciados, recipientes contendo 10 ml de solução de KOH 0,5 N. Os recipientes eram acondicionados na superfície do solo, previamente limpo de detritos vegetais, e cobertos com baldes, de modo a permitir o contato da solução apenas com o ar proveniente do solo. As bordas dos baldes de cobertura foram enterradas a profundidade de 3 cm no solo garantindo a vedação (LEITE, 2012). A área útil para a captura do CO_2 liberado, proporcionada pelos baldes de cobertura, era de 145,26 cm² por ponto amostrado. As medições foram realizadas bimestralmente conforme (VERCHOT et al., 2008), a saber: outubro e dezembro de 2012 e fevereiro de 2013.

As medições foram realizadas durante período de 24 horas, sendo dividido em dois turnos: diurno e noturno. Assim, recipientes eram distribuídos as 06:00 am e recolhidos as 18:00 pm (avaliação diurna) e distribuídos as 18:00 pm e recolhidos as 06:00 am (avaliação noturna). Estas avaliações ocorreram em três dos meses de experimentação. Todo o transporte para distribuição e coleta ocorreu com os recipientes de captação fechados hermeticamente. Para cada período de avaliação uma amostra controle (prova em branco) passava por todos os procedimentos de captura do CO_2, contudo permanecia fechada no campo (LEITE, 2012).

A massa de CO_2 produzida por unidade de área e de tempo foi obtida considerando a massa total liberada no período de permanência do recipiente coletor na área (12 horas), em função da área útil de produção de CO_2 (145,26 cm²). Para tanto, utilizou-se a seguinte equação (GRISI, 1978):

$$mCO_2 = [352 \times (DVA - DVC) \times NB \times NA / 3 \times P \times AB] \times 104$$

onde:
mCO2 = massa de CO_2 em mg m^{-2} h^{-1}
DVA = diferença de volume de HCl gasto na primeira e segunda etapa da titulação da amostra (ml).
DVc = diferença de volume de HCl gasto na primeira e segunda etapa da titulação do controle (ml).
NA = concentração do HCl usado na titulação.
NB = concentração do KOH usado na titulação.
P = período de permanência da amostra no solo (12 horas)
B = área de abrangência do balde (145,26 cm^2)

O estoque de carbono (EC) na camada de 0 a 30 cm de profundidade foi determinado a partir da expressão **Cac = (C x Ds x e)/10**, em que Cac é o estoque de carbono em Mg ha^{-1}; C indica o teor de carbono orgânico total em g kg^{-1}; Ds é a densidade do solo estudado, em kg dm^{-3} e "e" é a espessura em cm da camada amostrada. Os valores iniciais e fiais de EC foram contrastados.

2.2.8 Resistência a penetração

Como indicador quantificado da qualidade física do solo foi determinada à resistência mecânica do solo a penetração (RP). A RP foi determinada com o uso de penetrômetro de anel dinamométrico ou estático (modelo Solotest 1.210.001). O valor obtido no relógio de leitura foi transformado em kgf pela equação de calibração do aparelho: R(kgf) = 1,0444 + 0,2998y; em que R é a resistência à penetração em kgf ((kgf por área do cone)* 0,098 = MPa) e y é a leitura no relógio (mm) (ROQUE et al., 2003). As leituras foram realizadas após um ano de implantação e uso dos SSPs e monocultivo. Tais mensurações foram realizadas na superfície do solo de cada ponto georreferenciado do gride, sendo 50 pontos avaliados em cada sistema integrado e sob monocultivo e dez pontos avaliados na floresta.

2.2.9 Estatística

Os dados dos atributos químicos do solo, suas temperaturas, os teores de umidade, as produções de CO_2 e as resistências a penetração, oriundos dos pontos da malha de coleta, foram submetidos a avaliações em três etapas (CERRI et al., 2004) Inicialmente os dados foram submetidos a análise exploratória descritiva e análise de correlação de Pearson (PANG et al., 2006).

Posteriormente, os dados foram submetidos a análise multivariada de agrupamentos (AA) para identificar atributos mais relevantes no diagnóstico do efeito do uso sob os atributos do solo (SILVA NETO, 2012). Finalmente, os dados mais importantes foram submetido à análises geoestatística para definir a variação espacial do atributos (CERRI et al., 2004) em função do uso. Foram utilizados 50 pontos da malha original de cada área integrada, e a sol pleno, e 10 pontos da área de floresta nativa, totalizando 160 pontos georreferenciados nas quatro áreas de estudo.

2.2.10 Análises descritivas e Multivariadas

Cada ponto (coordenada geográfica) foi identificado com um código sobre a qual área pertencia. Estes pontos foram arranjados de forma independente, em uma matriz de relação ponto-variáveis. O método de aglomeração hierárquica de Ward (VICINI, 2005) foi utilizado como algoritmo para agrupar pontos similares, e separar elementos disssimilares, em função das características, químicas, físicas e biológicas dos solos (PANG et al., 2006). A similaridade ou dissimilaridade entre os pontos dos diferentes ambientes foi calculada em função da proximidade destes pontos dada pela distância euclidiana. A separação entre grupos foi determinada pela linha Fenon. O resultado do Cluster foi apresentado na forma de dendograma com aglomeração de pontos similares (VICINI, 2005).

Uma análise fatorial (AF) acompanhada da análise *Two-way joining* (VICINI, 2005) dos dados que compuseram a AA foi conduzida para determinação dos atributos que constituíram os fatores que serviram para delimitar os grupos obtidos na análise de cluster. Estes grupos foram distinguidos por atributos de caráter químicos, físicos e biológicos que apresentavam variação similar dentro dos sistemas. Os fatores foram compostos por aquelas características que mais influenciavam na sua formação e foram classificados em fatores fertilidade, umidade e temperatura, emissão edáfica de CO_2 e resistência à penetração.

As variáveis foram reduzidas ao número de fatores que explicava um mínimo de 70% das variações que serviam para separar grupos distintos. Para melhor visualização desses fatores, optou-se em utilizar os gráficos de dispersão da nuvem de variáveis em plano cartesiano, ou planos fatoriais, em três dimensões, que expressam a localização das variáveis num sistema de

coordenadas criado pelos fatores e a representatividade visual dos atributos na formação dos grupos em duas dimensões.

A matriz de pontos-variáveis codificada para os sistemas (4 sistemas x 50 pontos) e ciclos (7 ciclos para temperatura e umidade do solo e 3 ciclos para emissão edáfica de CO_2), composta por treze atributos químicos avaliados em três profundidades; temperatura e umidade do solo, avaliados sete vezes; respiração edáfica, avaliada três vezes em dois períodos e resistência a penetração, avaliada uma vez, totalizando 17 atributos do solo e 912 avaliações, foi submetida a análise de componentes principais (ACP), conforme Pang et al., (2006), para determinação de novas variáveis, ou componentes, em número reduzido, que explicassem a maior parte das diferenças entre as áreas e que elucidasse quais características mais influenciavam na formação destes componentes, sendo mais afetadas pelos sistemas de manejo e uso do solo (SSPs, monocultivo e floresta nativa). Desta forma pode-se evidenciar quais atributos, são mais afetados pelo sistema de uso do solo.

Ainda foi determinada a influência de cada variável real nos componentes gerados pela matriz de correlação existente entre os dados e os autovetores. Foram considerados úteis os componentes principais com autovalores superior a 1 ou que conjuntamente explicavam mais de 70% da variação existente entre os sistemas (MARDIA et al., 1979).

2.2.11 Geoestatística e agrupamento Fuzzy

A partir dos componentes principais formados extraíram-se os atributos de maior relevância na distinção dos sistemas e submeteu-os a análise geoestatística (CERRI et al., 2004). Neste processo os dados georreferenciados dos atributos químicos, físicos e biológicos, mais influentes na ACP foram submetidos a análise descritiva e exploratória dos dados. Foram calculados a média, mediana, moda, máximo, mínimo, coeficientes de variação, assimetria e curtose, e a semivariância, donde se determinou a aptidão dos dados para serem processados pela análise geoestatística (CERRI et al., 2004; SILVA NETO et al., 2012).

A análise da semivariância serviu para determinar a forma da distribuição espacial de todas as variáveis na área como um todo, mas em função dos

sistemas, e foi mensurada por meio da construção de semivariogramas. A variabilidade de cada atributo foi determinada por meio da construção de seu respectivo semivariograma. Os semivariogramas foram testados e ajustados a modelos matemáticos teóricos – esférico, exponencial, linear e gaussiano – em função da nuvem de pontos (SILVA NETO et al., 2012), para definição dos valores do efeito pepita (C_0), do alcance (A) e do patamar ($C + C_0$) e posterior interpolação (CERRI et al., 2004).

O padrão de dependência espacial foi calculado pela semivariância e autocorrelação em função da distância γ(h) (MATHERON, 1963), através da equação:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

em que: N(h) é o número de pares de valores medidos Z(xi), Z(xi+h), separados pela distância h, (VIEIRA et al., 1983). O gráfico de γ*(h) versus os valores correspondentes de h, é uma função do vetor h, e, portanto depende de ambos, magnitude e direção de h.

A seleção do modelo teórico em função das variâncias reais foi realizada observando-se a menor soma do quadrado dos resíduos (SQR), o maior coeficiente de determinação (R^2) e o maior grau de dependência espacial (GDE). Os valores da semivariância e ajuste aos modelos, bem como sua precisão, foram determinados pelo software GS+ (ROBERTSON, 1998),

Para análise do grau de dependência espacial (GDE) dos atributos do solo foi utilizada a relação $C/(C + C_0)$, classificada segundo Robertson (1998) como forte (GDE ≥ 0,75), moderada (0,25 ≤ GDE < 0,75) e baixa dependência (GDE < 0,25). A equação do GDE utilizada foi:

$$GDE = \left[\frac{C}{C + C_0}\right] 100$$

Após o ajuste dos semivariogramas os dados foram submetidos diretamente à interpolação pelo método da krigagem (CERRI et al., 2004), considerando a distância e a variância entre pontos vizinhos para a geração de valores dos atributos avaliados em locais não amostrados.

O resultado do diagnóstico dos diferentes atributos foi expresso na forma de mapas de isolinhas, e a maneira de localizar uma isolinha entre dois pontos foi determinada pela interpolação dos dados, por meio de krigagem ordinária (LANDIM, 2006; CERRI et al., 2004). Foi utilizado o software Surfer 8.0 (GOLDEN SODTWARE, 2002) para manipulação e visualização da distribuição espacial, por meio da construção dos mapas, de acordo com as coordenadas geográficas. A análise e os mapas foram feitos tratando-se a área estudada como um todo, sem a divisão por sistema.

A partir dos componentes principais formados na ACP e usados na análise geoestatísticas extraíram-se as variáveis de maior relevância dentro dos sistemas e agrupou-as pelo método não hierárquico fuzzy *k*-médias. Este processo transformou as diversas variáveis das componentes principais de cada ponto da malha em um único autovalor de representação e os mapas das diversas variáveis de diferentes gêneros, que formaram as componentes principais em um único autovalor artificial representativo, entre 0 e 1, onde 1 significa a adesão plena a um determinado grupo e 0 a não adesão a este grupo (DOBERMANN e OBERTHUR, 1997). Para isso considerou-se cada ponto de informação oriunda da malha de cada atributo válido. Eles foram usados para combinar diferentes grupos de atributos do solo em um índice geral da qualidade do solo (DOBERMANN e OBERTHUR, 1997). Estes novos valores serviram para determinar classes de sistemas em função das condições do solo (SILVA NETO. 2012).

A definição dos valores e classes foi obtida através do software FuzMe 3.0 (MINASNY e McBRATNEY, 2002). O número de classes foi restringido ao mínimo de 2 e máximo de 5, com máximo de 300 interações e agrupamento pela distância euclidiana ao centroíde.

O número ótimo de classes foi determinado pelo menor índice de desempenho fuzzy (FPI), que implica na redução da sobreposição de *clusters* e do grau de confusão.

Os novos valores das médias fuzzy foram utilizados para elaborar um novo mapa de classes que resume todas as variáveis. Novamente utilizou-se a ferramenta geoestatística para construção de um mapa de classes para os sistemas de uso do solo.

2.2. RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1 Respostas das avaliações descritivas, correlações e análises multivariadas

2.3.1.1 Atributos químicos do solo

Os resultados referentes à análise descritiva dos atributos químicos do solo nas diferentes profundidades avaliadas (0-7, 8-14 e 15 a 30 cm), após um ano de implantação dos sistemas e em função do uso (Sol Pleno, SSP 30, SSP 60 e floresta) são apresentados na Tabela 2. Em todos os ambientes os maiores teores de MO, Ca, Mg, P, K, pH, SB, $CTC_{efetiva,}$ CTC_{pH7} e V%, foram registrados nas camada superficial (0-7 cm), diminuindo a medida que aumentava a profundidade (CERRI et al., 2004; GEISSEN e GUZMAN, 2006). Isto é o resultado da contínua deposição de material senescido (liteira do pasto e serrapilheira da floresta) na superfície do solo, onde sua decomposição permite a liberação de elementos na superfície (TORNQUIST et al., 1999; PANG et al., 2006)). Cerri et al. (2004) mencionam que a maior parte da MO do solo (48%) pode estar na camada de 0-10 cm. Maior nível de fertilidade na camada superficial também pode ser resultado da correção e adubação realizada na implantação dos sistemas, já que não houve incorporação às camadas mais profundas.

Já as características Al, H+Al e m% apresentaram os maiores valores nas camadas mais profundas (CERRI et al., 2004). Este pode ser o resultado da exportação de cátions básicos (ALFAIA et al., 2004) pelas raízes da forrageira e das árvores das camadas mais profundas, tornando essas regiões com maiores quantidades de Al e H para serem adsorvidos aos coloides do solo.

As características químicas do solo se modificaram em função da sua ocupação (Tabela 2). De modo geral o ambiente mais fértil foi a floresta, embora não tenha recebido calagem e adubação nitrogenada, potássica e fosfatada. Nela foram registrados valores médios (três profundidades) de MO, Ca, Mg, P, K, pH, SB, $CTC_{efetiva,}$ CTC_{pH7} e V% da ordem de 1,62; 9,85; 3,45; 20,16; 27,04; 5,44; 18,77; 19,21; 20,20 e 76,57 respectivamente. O SSP 60 apresentou valores parecidos com os verificados na floresta, a saber: 1,72; 8,88; 3,05; 20,21; 25,34; 5,23; 19,85; 20,13; 24,99 e 75,38 para MO, Ca, Mg, P, K, pH, SB, $CTC_{efetiva,}$

CTC_{pH7} e V% respectivamente (médias das três profundidades) (BHAGWAT et al., 2008).

Os resultados apoiam que o processo de revegetação natural ocorrido neste ambiente desde seu abandono até a implantação do sistema restaurou as condições químicas do solo (BHAGWATT et al., 2008). Ainda, isto indica que a alteração ambiental imposta para instalar o SSP com 60% de sombreamento, que incorreu em baixa retirada de árvores, afetou pouco os atributos do solo (BHAGWATT et al., 2008).

Paudel et al., (2011), ao avaliarem diferentes tipos de cobertura vegetal, também reportam que sistemas integrados perenes sofrem menos impactos de perturbações, e o motivo pode ser a MO do solo. Tornquist et al. (1999) relata que SSPs podem imitar os ecossistemas naturais. McGrath et al. (2001) não encontraram significativa diferenças na concentração de C do solo entre SSPs e floresta primária. Recco et al. (2000) observaram que SSPs mostraram tendência de recuperação e manutenção do C orgânico semelhante a floresta primária na Amazônia ocidental. Schroth et al. (2002) e Verchot et al. (2008) e Bilnn et al. (2013) mencionam sob a recuperação de áreas abandonadas pelo processo de formação de florestas secundárias. Contudo, a reutilização destas áreas para monocultivo tende a reduzir o C do solo. Eles ainda reportam que SSPs são mais viáveis no sequestro de C que monocultivo.

A área a Sol Pleno apresentou, em média (três profundidades), os menores valores de MO, Ca, Mg, P, K, pH, SB, $CTC_{efetiva,}$ CTC_{pH7} e V%, a saber: 0,68; 4,93; 2,00; 19,74; 10,02; 5,42; 10,31; 13,94; 14,95 e 66,55 respectivamente (Tabela 2). Esta área foi considerada a mais modificada em relação as condições naturais observada na floresta. Isto pode ter ocorrido devido o maior tempo de mau uso desta área sob forma de pasto não manejado, o que pode ter favorecidos os processos de perda de MO e nutrientes, sendo que tal processo só foi mitigado por ocasião do abandono e formação de capoeira rala. Desta forma esta área teve menor tempo de restauração natural do que os SSP 30 e 60 (PANG et al., 2006). Isto tende a confirmar que a presença de árvores em ambientes antropizados e degradados tende a restaurar as condições do solo (BHAGWATT et al., 2008; FUJISAKA et al., 1998).

O SSP 30 apresentou valores médios (três profundidades) para MO, Ca, Mg, P, K, pH, SB, $CTC_{efetiva,}$ CTC_{pH7} e V% intermediários aos observados nas área de Sol Pleno e SSP 60, (Tabela 2) a saber: 1,16; 5,83; 1,97; 20,30; 17,69; 5,18; 12,44; 12,75; 16,87 e 69,74, respectivamente. Esta área teve valores médios de MO, Mg, K, $CTC_{efetiva,}$ $CTC_{pH7,}$ V% e m% mais parecidos com a área a Sol Pleno do que com a floresta. Isto evidencia que a maior retirada de árvores em relação SSP 60 para obter-se o sombreamento de 30%, bem como o maior uso desta área para pastoreio por ovinos, alterou mais tal ambiente, favorecendo a depleção dos estoques de nutrientes.

Como os processos de abertura, uso, abandono, regeneração e implantação do sistema integrado SSP 30 foi semelhante ao do SSP 60, excetuando-se apenas o manejo do raleamento, e consequentemente, o número de árvores (120 árvores ha^{-1} em SSP 30 e 180 árvores ha^{-1} em SSP 60), infere-se que a densidade arbórea dos SSPs possua efeito primordial sob a conservação (BHAGWATT et al., 2008) dos atributos do solo, haja vista que o maior raleamento (SSP 30) permitiu a redução dos teores de nutrientes do solo enquanto o menor raleamento (SSP 60) permitiu a manutenção das condições químicas do solo, exceto para P, seu apresentou valores semelhantes entre os sistemas, o que pode ser resultado de sua adsorção coloides do solo.

Neste sentido Pang et al. (2006) estudaram o efeito de seis populações arbóreas sob as características do solo. Eles observaram que solo sob maior stand era mais fértil na camada superficial; ele possuía menor densidade, maior porosidade, maior teor de MO, e P. Neste estudo a área com maior densidade arbórea também se revelou mais fértil.

Quanto ao estoque de carbono (EC) verificaram-se valores iniciais médios de 60,05; 70,20; 70,20; e 57,60 Mg ha^{-1} para as áreas de SP, SSP 30, SSP 60 e Floresta. Os valores finais, após um ano de uso, foram de: 32,11; 35,28; 62,52; e 56,25 para as áreas de SP, SSP 30, SSP 60 e Floresta respectivamente. A área com maior redução de C, em relação a condição inicial, foi SSP 30 (-49,75%) seguida de SP (-36,5%). A área SSP 60 apresentou redução de 11% e na floresta praticamente não houve variação (-2,34%). A maior decomposição em SSP 30 pode estar relacionada a redução do aporte devido o raleamento, ao maior trânsito de animais, que promovem degradação física da MO e a adubação

nitrogenada que potencializa a ação de microorganismos. A maior degração em SSP 30 em relação SP pode esta relacionada a umidade do solo que favorece a biota decompositora. Já menor redução em SP pode estar associada ao incremento de MO oriunda da pastagem, que ao longo do tempo pode restaurar a MO perdida durante a abertur da área. SSP 60 foi pouco afeta devido o amenor raleamento e a pouca frequência de uso para pastejo, além do pequeno desenvolvimento do pasto.

Para quantificar o grau de aleração da qualidade química do solo considerou-se a porcentagem dos atibutos em relação a condição inicial de cada área e em relação a condição natural. Foi observado que a reabertura das áreas e a implantação da forrageira reduziu o teor de MO, em relação a condição natural, em 64; 49,72 e 25,13% para as áreas de SP, SSP 30 e SSP 60. A condição da MO da floresta praticamente não se modificou (-3,30%). Comparando-se a floresta com as áreas manejadas houve redução de 37,54% do teor de MO.

Em relação os teores de Ca e K, constatou-se redução da ordem de 33,81; 11,11 e 20,53%, e 78,55; 55,63 e 42,28%, respectivamente, para as áreas SP, SSP 30 e SSP 60 comparando-se a condição inicial e final. Na floresta houve pequeno acréscimo de Ca e K: 9,42 e 10,09%. Comparando-se a floresta com as áreas manejadas houve redução de 27,36 e 51,14% dos teores de Ca e K. Quantos aos valores de SB, CTC efetiva e V% verificaram-se reduções de 25,00 e 11,61%; 21,18 e 12,19%, e 20,57 e 13,37% respectivamente para as áreas SP e SSP 30. Na área SSP 60 os teores de SB e CTC elevaram-se em 26,23; 27,31%. Na floresta a variação foi relativamente baixa, a saber: +4,40; +6,71 e -10,52% para SB, CTC e V% respectivamente. Comparando-se a floresta com as áreas manejadas houve redução de 26,22; 26,40 e 9.92% para SB, CTC e V% respectivamente. Os teores dos elementos Mg e P foram elevados em 15,89; 4,13 e 2.89% e 79,00; 42,97 e 43,96% respectivamente nas áreas SP, SSP 30 e SSP 60, em relação a condição inical. Para a floresta as modificações de Mg e P foram baixas (+7,87 e +7,00% respectivamente).

O P foi o nutriente menos afetado pelos tipos de uso do solo (Tabela 2), e isso pode ser o resultado da adubação fosfatada nas áreas Sol Pleno, SSP 30 e SSP 60. Assim, pode-se observar que inicialmente (ocasião de implantação dos sistemas) os teores de P da floresta eram mais altos (Tabela 1), sendo

posteriormente alcançados pelas outras áreas após a adubação fosfatada. Tornquist (1999) também verificou que SSPs e florestas naturais podem apresentar maiores valores de P, o que pode estar relacionados aos exsudados das árvores (principalmente ácidos orgânicos de baixo peso atômico). Isto também pode estar associado a absorção de P a partir de um maior volume de solo em profundiadade, seguido pelo retorno a superfície do solo através de serapilheira. Alfaia et al. (2004) também observaram pouco efeito do uso do solo (SSPs , floresta e pastagem em monocultivo) sob os teores de P, estando de acordo com os dados deste experimento. Isso ainda pode ser resultado de processo de coplexação com óxidos e hidróxido de Fe e Al, típico de solos tropicais (GEISSEN e GUZMAN, 2006). Neste estudo a condição inicial médias das áreas era de 14,11 mg dm^{-3}. Após a adubação fosfatada este valor elevou-se para 21 mg dm^{-1}, homogenizando todas a área experimental, e permaneceu até o diagnóstico final, o que pode ser causado pela sua adsorção ao solo.

Os teores médios dos nutrientes na camada de 0-30 cm profundidade foram classificados como: MO baixa em Sol Pleno e SSP 30 e média em SSP 60 e Floresta; Mg e SB: muito bom em todas as áreas; V%: classificado como bom em todas as áreas; Ca e P: classificados como bom em Sol Pleno e muito bom nas demais áreas; Al, pH e K: classificados como baixos em todas as áreas; m%: classificado como muito baixo em todas as áreas (ALVAREZ et al., 1999). De modo geral todo o solo da área experimental pode ser classificado como fértil na ocasião da implantação dos sistemas (Tabela 1) e após um ano de uso (Tabela 2). Contudo, a forma de uso promoveu algumas alterações nestas características que anteriormente se encontravam mais homogêneas em toda a área. Um dos fatores que pode ter concorrido para manutenção das condições do solo em SSP 60 mais semelhantes a floresta é a baixa extração pela forrageira, que se desenvolveu menos e a menor exportação de nutrientes, já esta áreas suportou menos animais (1/2 da taxa de lotação de SSP 30 e 1/3 da taxa de lotação de Sol Pleno).

Tabela 2. Atributos químicos do solo (Argissolo Vermelho Eutrófico plíntico) sob pastagem de capim Mombaça cultivada em sistema de monocultivo (Sol Pleno – SP), sistema agloflorestal com 30 e 60 % de sombreamento (SSP 30 e SSP 60) e floresta nativa, após um ano de implantação dos sistemas.

Áreas	Atributos químicos dos solos												
		MO	Ca	Mg	Al	H+Al	P	K	pH	SB	CTC [1]	CTC[2]	V%	m%
	Profundidade	(%)	----------(cmol$_c$ dm^{-3})----------				---(mg dm^{-3})---		(H_2O)	---------(cmol$_c$ dm^{-3})-------				
Sol Pleno	0-7	1,01	5,97	2,26	0,28	4,28	21,26	14,16	5,55	8,26	18,78	8,78	66,41	3,27
	8-14	0,61	4,64	1,87	0,32	4,68	19,43	9,22	5,54	6,53	11,32	6,96	58,40	4,69
	15-30	0,42	4,18	1,89	0,32	4,96	18,54	6,24	5,48	6,08	11,56	6,92	57,01	4,86
SSP 30	0-7	1,80	8,0	2,52	0,27	4,33	21,79	26,86	5,17	10,58	14,65	10,51	68,89	3,32
	8-14	1,11	5,22	1,69	0,32	4,50	20,31	13,96	5,18	6,83	11,33	7,15	59,15	4,24
	15-30	0,59	4,29	1,72	0,33	4,47	18,82	12,26	5,11	6,04	10,73	6,68	59,00	4,70
SSP 60	0-7	2,68	11,33	3,70	0,26	5,82	21,94	34,94	5,27	15,11	20,65	15,24	71,42	2,17
	8-14	1,58	8,17	2,81	0,27	5,00	19,69	22,90	5,00	11,31	16,32	11,58	68,59	2,56
	15-30	0,92	7,15	2,65	0,32	4,68	19,00	18,20	4,68	9,84	15,15	10,16	68,29	2,66
Floresta	0-7	2,93	11,61	3,64	0,31	5,23	22,84	52,12	5,10	15,33	20,04	15,64	76,49	1,98
	7-14	0,97	9,93	3,39	0,21	4,92	19,27	25,14	4,92	13,38	18,30	13,59	73,11	1,74
	15-30	0,97	8,02	3,36	0,23	5,10	18,39	25,87	4,23	11,44	18,48	11,67	61,90	1,97

CTC[1]: capacidade de troca catiônica a pH 7. CTC[2]: capacidade de troca catiônica efetiva; SB: soma de bases; V%: saturação por bases; m% saturação por alumínio.

2.3.1.2 Umidade do Solo

Os resultados referentes aos teores de umidade do solo na cama da de 0-20 cm de profundidade, submetido aos diferentes usos e avaliados ao longo de sete meses (maio, junho, setembro, outubro, novembro e dezembro de 2012 e janeiro de 2013) são apresentados na Tabela 3. É possível obsevar que área a Sol Pleno apresentou o menor valor médio de umidade (15,37 %), seguido do SSP 30 (17,375). O solo sob a floresta e o SSP 60 apresentaram valores médios de umidade do solo de 23,73 e 23,46%, respectivamente. A partir destes dados é possível entrever que a maior densidade arbórea do ambiente integrado SSP 60 contribuiu para a maior retenção de água no solo, semelhante a observada na floresta. Paudel et al., (2011) mencionam que solos menos perturbados são mais estabilizados, tornando-se mais próximos da condição natural. Já o SSP 30, que possuiu menor densidade arbórea, por sofrer maior raleamento para atingir o nível de sombreamento de 30%, teve menor retenção de água na sua camada superficial, sendo mais parecido com o ambiente a Sol Pleno. A gramínea forrageira pode ter tido efeito menos expressivo sob a água do solo, já que ambas as áreas encotravan-se com sub-bosque sob mesma condição de manejo, embora apresentassem diferentes taxas de crescimento.

A partir destes dados pode-se confirmar a hipótese de que os ambientes sombreados (SSPs) têm maior capacidade para armazenar água no solo, sendo esta capacidade mais elevada quanto maior for o número de árvores do sistema: similar a floresta natural (BHAGWAT et al., 2008). Ao contrário, a remoção das árvores faz com o ambiente perca sua capacidade de reter água. Ainda, os dados revelam que abandono das áreas onde foram instalados os SSPs serviu para regenerar as condições do solo no tocante ao armazenamento de água e que o raleamento somente até 60% de sombreamento mantém a capacidade de retenção mais parecida com a da floresta. De modo geral a implantação de SSPs em áreas de floresta secundária serve para elevar ou manter a capacidade do sole em armazenar água (SCRHOTH et al., 2002; BLINN et al., 2013).

Fujisaka et al. (1998) também observaram que a conversão de floresta em área agricultável reduziu o C do solo de 32 para 26 t ha^{-1}. Já o pousio da área elevou o teor de C para 34 t ha^{-1}, enquanto que a posterior utilização como pastagem reduziu novamente o teor de C para 19 t ha^{-1}, afetando sobremaneira a

umidade do solo. Resultado de proporções diferentes, mas de mesmo sentido, foi observado no SSP 30.

A maior umidade do solo nos sistemas com presença do componente arbóreo esta relacionada a três condições: a primeira diz respeito ao fato de o sombreamento reduzir a quantidade de radiação direta incidente no solo; o aumento da temperatura; a evaporação de água do solo e as trocas de ar destes locais, culminando em menor perda de água do solo para atmosfera, sendo que tal redução torna-se maior que o aumento da evapotranspiração oriunda do acréscimo do componente arbóreo no sistema (GEISSEN e GUZMAN, 2006; RADERSMA et al., 2004).

A segunda pode estar relacionada ao maior conteúdo de MO destas áreas integradas (Tabela 2) (GEISSEN e GUZMAN, 2006). A MO do solo é composta por diversos compostos e moléculas de caráter orgânico, em diversos estágios de decomposição que podem possuir em suas estruturas químicas terminais polares que podem ser responsáveis por reter a água por meio de pontes de hidrogênio ou interações de Van de Waals. Ainda, a MO permite a estruturação do solo e formação de micro e macroporos, sendo os primeiros responsáveis por reter a água no solo. Guerra (2010) menciona que ambientes florestais possuem maior capacidade de infiltração de água em relação a solos revestidos por vegetação graminoíde, devido o volume da serrapilheira acumulada na superfície. Paudel et al. (2011) também reportam que SSPs melhoram as propriedades hidráulicas do solo, elevando a umidade e reduzindo escoamento superficial por causa da serrapilheira depositada.

A terceira causa, e uma das mais importantes, esta no fato de que na área a Sol Pleno houve o dobro de produção de forragem que a da área SSP 30 e o triplo da produção da SSP 60, consequentemente mais água foi utilizada nos processos fisiológicos fotossintéticos, elevando a evapotranspiração total.

2.3.1.3 Temperatura do solo

Os resultados referentes as temperaturas do solo (°C) na camada de 0-5 cm de profundidade, submetido aos diferentes usos e avaliados ao longo de sete meses (maio, junho, setembro, outubro, novembro e dezembro de 2012 e janeiro de 2013) são apresentados na Tabela 4. É possível obsevar que área a Sol Pleno

apresentou o maior valor médio para temperatura (30,84 °C), seguido do SSP 30 (24°C). Os solos sob a floresta e sob SSP 60 apresentaram valores médios de umidade de 22,38 e 23,95°C, respectivamente. A partir destes dados é possível verificar que a presença do componente arbóreo contribuiu para reduzir a temperatura solo, fazendo com que fosse mais parecida com a temperatura observada na floresta (BHAGWAT et al., 2008). De modo geral a temperatura nos ambientes com presença de árvores foi de 23,44°C, uma redução de 23,9% em relação ao pasto em monocultivo.

Ao longo dos períodos, considerando todos os ambientes, os maiores valores médios de temperatura ocorreram nos meses de junho e setembro, a saber: 29,53 e 32,53°C, respectivamente; estes são meses que correspondem ao período seco. Para os demais meses, correspondentes ao período chuvoso, a temperatura média foi de 26,05 °C.

A partir destes dados pode-se confirmar a hipótese de que os ambientes integrados (SSPs) têm a capacidade de manter a temperatura do solo mais parecida com as condições de temperatura reinantes na floresta (BHAGWAT et al., 2008), sendo esta capacidade mais elevada quanto maior for o número de árvores do sistema (Tabela 3). Ainda, os dados revelam que abandono das áreas e a revegetação natural para floresta secundária nos locais onde foram instalados os SSPs serviu para regenerar as condições do solo (SCRHOTH et al., 2002; BLINN et al., 2013) no tocante ao controle da temperatura. De modo geral a implantação de SSPs em áreas de floresta secundária serve para manter a temperatura do solo mais próximo às condições ideais. Geissen e Guzman (2006) relatam que áreas florestadas (95% de sombreamento) são mais protegidas contra a perda de água do solo e a elevação excessiva da temperatura do solo.

Tabela 3. Teores médios de umidade do solo (Argissolo Vermelho Eutrófico) sob pastagem de capim Mombaça em sistema de monocultivo (Sol Pleno – SP), sistema agloflorestal com 30 e 60 % de sombreamento (SSP 30 e SSP 60) e floresta nativa ao longo dos meses de maior crescimento da gramínea. Avaliação na camada de 0-20 cm de profundidade.

Áreas	Umidade do solo (%) - médias mensais						
	Maio 2012	Junho 2012	Setembro 2012	Outubro 2012	Novembro 2012	Dezembro 2012	Janeiro 2013
Sol Pleno	8,89	7,24	15,03	18,18	18,95	19,16	19,87
SSP 30	10,17	9,40	14,18	18,42	23,17	23,20	23,11
SSP 60	15,20	13,87	22,52	23,92	29,46	30,02	31,12
Floresta	15,50	11,77	22,26	23,79	29,63	29,87	31,43

Tabela 4. Valores médios de temperatura (°C) do solo (Argissolo Vermelho Eutrófico) sob pastagem de capim Mombaça em sistema de monocultivo (Sol Pleno – SP), sistema agloflorestal com 30 e 60 % de sombreamento (SSP 30 e SSP 60) e floresta nativa ao longo dos meses de maior crescimento da gramínea.

Áreas	Temperatura do solo (°C)						
	Maio 2012	Junho 2012	Setembro 2012	Outubro 2012	Novembro 2012	Dezembro 2012	Janeiro 2013
Sol Pleno	29,28	35,8	38,31	29,91	28,02	25,28	29,57
SSP 30	28,15	30,76	32,9	26,9	26,8	24,14	26,52
SSP 60	26,00	27,03	29,83	26,23	25,24	23,49	24,85
Floresta	23,00	24,5	29,10	25,9	24,5	23,7	24,00

2.3.1.4 Respiração do solo

Os resultados referentes a respiração do solo (mg CO_2 m^{-2} h^{-1}) submetido aos diferentes usos e avaliados nos meses outubro e dezembro de 2012 e fevereiro de 2013, mensurados pela medida não-instantânea da taxa de evolução de CO_2 no campo, são apresentados na Tabela 5. O sistema de manejo e uso afetou as emissões de CO_2 (mg CO_2 m-^{2} h-^{1}) do solo. É possível observar que área a Sol Pleno apresentou o maior valor médio diário de respiração: 447,89 mg CO_2 m^{-2} h^{-1}, ao passo que a floresta apresentou o menor valor: 312,20 mg CO_2 m^{-2} h^{-1}. O SSP 30 apresentou valor médio diário de respiração de 408,88 mg CO_2 m^{-2} h^{-1}, sendo mais parecido com a área a Sol Pleno. Já o SSP 60 apresentou valor médio diário de respiração de 343,19 mg CO_2 m^{-2} h^{-1}, se aproximando do observado na floresta (BHAGWAT et al., 2008). A partir dos dados é possível entrever que a maior densidade arbórea do ambiente integrado SSP 60 contribuiu para menor emissão de CO_2, ao passo que o sequestro também foi reduzido devido a baixa taxa fotossintética. Ainda pode-se inferir que a atividade microbiana do solo é sensível a modificações no uso da terra (GEISSEN e GUZMAN, 2006).

Quanto aos períodos de avaliação pode-se verificar que as maiores emissões de CO_2 nos ambientes com a presença de árvores ocorreram durante o dia, enquanto que no ambiente a Sol Pleno a maior emissão ocorreu durante a noite (Tabela 5). Isto possivelmente ocorreu porque durante a noite, a temperatura do solo na área a Sol Pleno pode ter sido mais baixa e a umidade do solo maior, favorecendo a atividade microbiana e resultando em maior liberação de CO_2. Já nas áreas integradas e na floresta, onde a temperatura e a umidade do solo são mais constantes e mais adequadas à atividade microbiana (SILVA et al., 2012) a emissão de C durante o dia foi favorecida pela radiação solar, que potencializou a degradação da matéria orgânica (LEITE, 2012). Ao longo dos meses avaliados a emissão de C aumentou de outubro para fevereiro, o que pode estar associado ao aumento da umidade do solo (SOUTO et al., 2002) neste período (Tabela 3).

Tabelas 5. Valores médios de emissão de CO_2 (mg CO_2 m^{-2} h^{-1}) em pastagem de capim Mombaça cultivada em sistema de monocultivo (Sol Pleno – SP), em sistema agloflorestal de capim Mombaça + babaçu com 30 e 60 % de sombreamento (SSP 30 e SSP 60) e floresta nativa, ao longo do tempo e em função do período do dia.

Áreas	Períodos	Meses avaliados			Médias dos ambientes
		Outubro	Dezembro	Fevereiro	
Sol Pleno	Dia	333,59	508,55	459,21	433,78
	Noite	391,12	514,40	480,51	462,01
SSP 30	Dia	299,53	426,32	452,41	392,75
	Noite	373,11	459,20	442,72	425,01
SSP 60	Dia	305,81	412,96	347,57	355,44
	Noite	356,70	333,63	302,50	330,94
Floresta	Dia	303,86	421,27	356,44	360,52
	Noite	362,33	238,92	190,40	263,88
Médias mensais		340,75	362,78	378,97	

A partir destes dados pode-se confirmar a hipótese de que os ambientes integrados (SSPs) têm maior capacidade para armazenar C no solo, haja vista a maior deposição de serrapilheira e sua menor taxa de oxidação, sendo esta capacidade mais elevada quanto maior for o número de árvores do sistema. Ao contrário, a remoção das árvores fez com que a emissão de C fosse aumentada, embora o sequetro pela forrgeira possa elevar-se. Ainda, os dados revelam que abandono e a revegetação natural das áreas onde foram instalados os SSPs serviu para restaurar as condições do solo (FUJISAKA et al., 1998) no que diz respeito ao estoque de C no solo, evidenciando que o raleamento somente até 60% de sombreamento mantém a respiração edáfica do solo mais parecida com a da floresta (BHAGWAT et al., 2008). De modo geral, a implantação de SSPs em áreas de floresta secundária serve para mitigar as emissões de CO_2 para a atmosfera em relação a pastagem em monocultivo. Verchot et al. (2008) mencionam que SSPs melhoram a fertilidade e reduzem a emissão de C.

Ao se considerar o balanço total (emissão x sequestro) pode-se verificar que a área Sol Pleno, mesmo emitindo mais CO_2, aproximadamente (3,2 toneladas por ciclo), apresentou balanço possitivo para o sequetro de C via produção de forragem, removendo em média 3,3 toneladas de CO_2 da atmosfera. Nos sistemas integrados verificou-se emissões médias de 2,7 toneladas ciclo^{-1} e sequestro de C via produção de forragem de aproximadamente 2 toneladas. Nestas áreas não mesurou-se o sequestro realizados pelas árvores, mas é

possível ao somar-se o sequestro de C do bosque e sub-bosuqe, este seja maior que a emissão total.

Os maiores valores médios de emissão de CO_2 na área a Sol Pleno, em relação os demais sistemas, pode estar relacionado as seguintes condições: nesta área houve maior incidência de radiação direta no solo, o que acelera a degradação da MO; embora possua menor umidade do solo (Tabela 3) em relação os demais sistemas, tais valores foram suficientes para manter a atividade microbiológica, que se beneficiou das maiores temperaturas do solo (Tabela 4) (SOUTO et al., 2009); o material orgânico depositado nesta área possui menor relação C/N, maior teor de nutrientes e menores teores de compostos ligno-celulósicos, que podem promover a colonização microbiana em valor até quatro vezes maior que materiais de origem florestal (ASSIS Jr. et al., 2003); a maior taxa de lotação por ovinos nesta área garante maior aporte de fezes e urina, que aumentam a biomassa microbiana, por funcionar como substrato adicional para o metabolismo e crescimento microbiano (ASSIS Jr. et al., 2003; PAUDEL et al., 2011); a maior atividade fisiológica das plantas forrageiras neste ambiente pode ter promovido uma maior produção de exsudatos radiculares (CHEN et al., 2006), que são fonte de C prontamente mineralizável para a biomassa microbiana do solo (BMS) (SOUZA et al., 2010); parte da respiração do solo advém das raízes (10 a 50%), sendo as raízes finas as mais relacionadas (SILVA et al., 2012). Nesta área houve maior produção de raízes em função do elevado número de perfilhos (dados não apresentados).

Paudel et al., (2011) observaram que em sistemas de pastagem sob monocultivo há maior atividade de enzimas hidrolases para a fibra (FDA), o que pode promover aumentos da taxa de decomposição da liteira do pasto e aumentar a emissão de C. Estes mesmos autores relatam que sob SSPs a diversidade microbiana, e, consequentemente enzimática, pode ser maior que em sistemas de monocultivo, mas isso não eleva a respiração porque sob maior diversidade pode haver elevada concorrência por substrato. Tornquist et al. (1999) também observou maior mineralização de C oriunda da MO na camada de 0-5 cm de profundidade em pastagens sob monocultivo em relação SSPs. Eles atribuiram o fato a qualidade da MO (SCHROTH et al., 2002) e a sua localização mais superior. Estes autores também supõem que menor mineralização da MO em

solos sob SSPs estão relacionados a elevados teores de lignina na serrapilhiera, enquanto que baixos valores de respiração edáfica em SSPs, em relação a pastagem em monocultivo, podem ser resultados da qualidade do substrato orgânico, onde nos SSPs a MO pode apresentar Al em sua composição, que pode reduzir a atividade de microorganismos decompositores. Cerri et al. (2004) e Fujisaka et al. (1998) também menciona que a conversão de floresta natural para pastagem, principalmente quando mal geridas, elevam as taxas de mineralização da MO, respiração edática e emissão de CO_2. Já Schroth et al. (2002) reporta maiores teores de MO em sistemas integrados devido a qualidade da serrapilheira das árvores, que pode possuir menor taxa de decomposição que materiais cultivados.

Desjardins et al. (1994) observaram que a MO da floresta difere da MO da pastagem sob monocultivo em relação ao tamanho das partículas. Na floresta ha maior porcentagem de MO com partículas de tamanho entre 20 a 200 µm, enquanto que em pastagem há maior porcentagem de partículas de tamanho entre 0 e 20 µm. As partículas menores possuem maior superfície disponível para ação de decompositores, o que pode elevar a taxa de decomposição e a emissão de CO_2. Geissen e Guzman (2006) também verificaram que a taxa de decomposição de biomassa em pastagem é maior que na floresta.

Os estudos de Leite (2012) também evidenciaram que áreas sob pastagem em monocultivo apresentaram maiores emissões de CO_2 que sistemas integrados. O autor observou, no período chuvoso, emissões diurnas e noturnas de 139,50 e 152 e 251,41 e 230,25 mg CO_2 m^{-2} h^{-1} em ambientes SSP e monocultivo respectivamente. Assis Jr. et al. (2003) também observaram emissões de CO_2 da ordem de 490 e 540 mg CO_2 m^{-2} h^{-1} em sistemas integrados e monocultivo respectivamente. Silva et al. (2012) observaram valores de emissão de CO_2 em SSP intermediários à valores verificados em ambiente de floresta e monocultivo, estando de acordo as observações deste estudo. Estes autores mencionam que a respiração edáfica é responsiva a modificações na estrutura da vegetação. As inferências de Paudel et al., (2011), confirmam os resultados deste estudo, onde SSPs emitem menos CO_2. Os autores reportam que estes sistemas são mais eficientes em sequestrar carbono. Verchot et al. (2008) observou que

sistemas de pousio enriquecido podem emitir, pelo menos, 1 Mg de C ha^{-1} ano^{-1} a menos que área de exploração agrícola convencional.

2.3.1.5 Resistência do solo à penetração

Os resultados referentes a resistência a penetração (RP) do solo submetido aos diferentes usos e avaliados ao final de um ano de implantação e uso dos sistemas integrados e solteiros são apresentados na Tabela 6. O sistema de manejo e uso afetou a RP do solo. É possível observar que área a Sol Pleno apresentou o maior valor médio de RP: 3,09 MPa, ao passo que a floresta apresentou o menor valor médio: 1,88 MPa. Os sistemas integrados SSP 30 e SSP 60 apresentaram valores médios de 1,98 e 1,90 MPa respectivamente. A partir dos dados é possível observar que os valores da RP dos SSPs se aproximaram dos valores de RP da floresta e que quanto maior o número de árvores menor foi a RP.

O ambiente Sol Pleno foi o único que apresentou valor de RP superior ao máximo considerado ótimo para as culturas: 2,5 MPa (SEMMEL et al., 1990). Esta elevada RP em Sol Pleno pode estar relacionada ao menor tempo de pousio desta área em relação as áreas dos SSPs, que pôde conferir menor aporte de MO ao solo, bem como menor estruturação, ou ainda ao menor conteúdo de água do solo (Tabela 6), o que limita as deformações causadas por cargas (GUERRA, 2010; IORI et al., 2012) já que a umidade do solo altera (reduz) a coesão e a adesão entre as partículas, onde a falta de água faz com que haja aproximação (coesão) das partículas tornado difícil a separação por forças externas (SILVEIRA et al., 2010). Assim, a magnitude da diferença dos valores de RP entre SSPs e monocultivo pode ser parcialmente reduzida por efeitos da umidade do solo.

Os menores teores de MO do solo em Sol Pleno ainda podem ser resultado da maior taxa de oxidação da MO, como observado pela respiração do solo (Tabela 5). De modo geral a RP, na ocasião da avaliação, era favorável nos ambientes integrados e imprópria no sistema a Sol Pleno (3,09 MPa) (BLAINSKI et al., 2008).

Tabela 6. Valores médios de resistência a penetração (RP– MPa) e teor de umidade (%) do solo (Argissolo Vermelho Eutrófico) sob pastagem de capim Mombaça em sistema de monocultivo (Sol Pleno – SP), sistema agloflorestal de capim Mombaça + babaçu com 30 e 60 % de sombreamento (SSP 30 e SSP 60) e floresta nativa.

Área	Resistência a Penetração (MPa)	Umidade do Solo* (%)
Sol Pleno	3,09	10,10
SSP 30	1,98	10,99
SSP 60	1,90	22,11
Floresta	1,88	22,30

*umidade do solo determinada no momento da mensuração da RP.

Solos cultivados convencionalmente podem apresentar maiores valores de RP devido a decréscimos na umidade em maior magnitude que sistemas integrados, já que estes últimos mantêm as condições de umidade e temperatura mais estáveis (IORI et al., 2012). Isto implica em maior sensibilidade do ambiente Sol Pleno as condições climáticas. Maiores RP em Sol Pleno também podem ser resultantes de maiores taxas de lotação animal utilizadas nesta área durante o pastoreio com ovinos (TORNQUIST et al., 1999; LIMA et al., 2013).

Considerando os dados verificados na ocasião da avaliação pode-se confirmar a hipótese de que nos ambientes integrados (SSPs) há menor resistência à penetração das raízes das gramíneas. Já a remoção das árvores faz com que a RP seja aumentada ao longo do tempo de uso. Ainda, os dados revelam que o abandono e a revegetação natural das áreas onde foram instalados os SSPs serviu para restaurar as condições de RP do solo e que o raleamento até 30% de sombreamento (120 árvores ha^{-1}) mantém a RP do solo parecida com a da floresta (BHAGWAT et al., 2008). De modo geral a implantação de SSPs em áreas de floresta secundária permite a manutenção da RP adequada ao desenvolvimento radicular.

Os menores valores de RP verificados nos SSPs e na floresta estão relacionados principalmente aos maiores teores de MO do solo (IORI, 2012) sob estes sistemas (Tabela 2). A MO do solo possui vários atributos que podem reduzir a RP, a saber: diminui a densidade do solo (DESJARDINS et al. 1994), já que promove sua estruturação e formação de macro e microporos (SOUSA e ALVES, 2003; PAUDEL et al., 2011); promove agregação (LIMA et al., 2013)

aumenta o conteúdo de água do solo, que reduz a capacidade de resistência a tensões e cargas exercidas devido a redução da coesão das partículas (ASSIS et al., 2009); as estruturas moleculares das substâncias húmicas atuam absorvendo e dissipando as pressões mecânicas, reduzindo a proximidade entre as partículas e aumentando o índice de espaços vazios (IORI et al., 2012)

Guerra (2010) e Lima et al., (2013) mencionam que a conversão de floresta em ambientes cultivados pode reduzir a MO do solo (FUJISAKA et al., 1998) e isso pode elevar a RP. Eles também verificaram menores valores de RP em sistemas integrados, se assemelhando aos observados em florestas nativas e maiores valores de RP em sistema de monocultivo. Nair et al. (2007) cita que SSPs são mais eficiente em incorporar C no solo que pastagens solteiras, embora estas, por sua vez, podem ser mais eficientes que florestas (BRAZ et al., 2004). Iori et al. (2012) também citam menores valores de RP onde há maior teor de MO do solo, já que esta atua como agente cimentante e estruturador do solo. Ribon e Tavares Filho (2008) avaliaram os efeitos da densidade, umidade e MO do solo sob a RP. Eles verificaram que na camada superficial, até 30 cm de profundidade, a variação da MO explicou 92 % da variação da RP. Ekwue e Stone (1995), em condições laboratoriais, encontraram que a MO (teores entre 17 e 27 g kg-1) reduz a resistência do solo em baixos conteúdos de umidade do solo.

3.1.6 Correlações

Os resultados referentes as correlações entre os valores médios, procedentes das três profundidades avaliadas, de todos os atributos oriundos dos diferentes usos e avaliados ao final de um ano de implantação e uso dos sistemas integrados e solteiros são apresentados na Tabela 7. A MO do solo foi a característica que mais se correlacionou com os demais atributos. Isto evidencia sua importância para as condições fisicoquímicas e biológicas do solo. A MO correlacionou-se positivamente com os cátions básicos do solo e consequentemente com os valores de SB e V%. Isto ocorreu porque diversas frações da MO (substâncias húmicas) possuem estrutura com grande número de terminações com cargas negativas, que servem para adsorver cátions. A correlação também foi positiva para $CTC_{efetiva}$ e CTC_{pH7}, pois a MO eleva a superfície de troca, estando de acordo com Geissen e Guzman (2006).

A MO ainda apresentou correlação positiva com a umidade do solo ao longo dos ciclos e com a umidade instantânea da RP. Este é o resultado de sua capacidade de retenção de água. A correlação negativa da MO com a temperatura do solo esta relacionada ao fato de que nos ambientes sombreados a incidência de radiação é menor, aquecendo menos o solo, ao passo que a deposição de MO é elevada. Ainda, pode ser resultado do fato que a maior quantidade de água no solo favorece a perda de energia na forma de calor pela evaporação, o que resfria o solo. Assim, solo com maior teor de MO, possui maior umidade e menor temperatura. A MO ainda correlacionou-se negativamente com a RP, evidenciado seus efeitos sobre a redução da compactação e densidade do solo (RIBON e TAVARES FILHO, 2008; SOUSA e ALVES, 2003; PAUDEL et al., 2011).

A SB, $CTC_{efetiva}$ e CTC_{pH7} e V% correlacionaram positivamente entre si e com os elementos Ca, Mg e K, (Tabela 7) por serem os elementos que mais compuseram os cátions trocáveis no solo. A SB correlacionou-se positivamente com a umidade do solo e negativamente com a RP. Isto pode ser o resultado das bases do solo estarem, em grande parte, adsorvidas na MO. Assim, quanto maior a SB e consequentemente a MO maior foi o teor de água no solo e menor foi a RP. A correlação entre SB e umidade permitiu a correlação positiva entre

$CTC_{efetiva}$ e CTC_{pH7} com a umidade, já que o cálculo da CTC considera o valor da SB.

A saturação por bases (V%) foi correlacionada negativamente com a saturação por alumínio (m%) (Tabela 7). Desta forma, quanto maior a quantidade de bases adsorvidas ao complexo de troca dos coloides do solo menor foi a quantidade de Al, já que as bases deslocam o Al. Alfaia et al. (2004) também reporta que em SSPs pode ocorrer uma redução dos níveis de Al trocável e o aumento de bases como Ca e Mg.

A umidade do solo correlacionou-se negativamente com a temperatura do solo (Tabela 7), já que o amento do conteúdo de água eleva a evaporação e favorece o resfriamento do solo. A respiração do solo foi correlacionada positivamente com umidade e temperatura do solo, já que o aumento dos valores destas características favorecem a atividade biológica do solo. Ainda, a respiração foi correlacionada negativamente com a SB, $CTC_{efetiva}$ e CTC_{pH7}. Embora isto pareça contraditório, já que o maior teor de nutrientes no solo pode favorecer a atividade microbiológica, tal resultado pode ser respaldado pelo fato de que a SB, $CTC_{efetiva}$ e CTC_{pH7} estiveram relacionadas com a MO, que foi baixa onde existia maior respiração edáfica. Assim, a medida que há maior oxidação da MO eleva-se as emissões de CO_2, ao passo que reduz-se as superfície de troca (CTC) e o estoque de nutrientes disponíveis aos microorganismos.

Tabela 7. Correlações entre atributos químicos, físicos e biológicos do solo sob diferentes usos: floresta nativa, sistemas silvipastoris com 30 e 60% de sombreamento e sistema de pastagem em monocultivo. Para características químicas do solo e características repetidas no tempo, foram geradas primeiramente médias gerais de cada atributo para posterior cálculo das correlações. Em negrito são apresentadas as principais correlações.

Variáveis	MO	Ca	Mg	AL	P	K	H + Al	pH	SB	CTC[1]	CTC[2]	V%	m%	˚C	Umd	Resp	RP	Umd RP
MO	1.00																	
Ca	**0.78**	1.00																
Mg	0.67	**0.88**	1.00															
AL	-0.09	-0.11	-0.08	1.00														
P	0.30	0.22	0.22	0.09	1.00													
K	**0.72**	0.65	0.61	-0.07	0.26	1.00												
H + Al	0.39	0.34	0.39	-0.03	0.03	0.28	1.00											
pH	-0.28	-0.23	-0.15	0.07	-0.12	-0.25	-0.07	1.00										
SB	**0.77**	**0.84**	**0.83**	-0.10	0.22	0.83	0.40	-0.16	1.00									
CTC[1]	**0.78**	**0.83**	**0.83**	-0.10	0.22	0.83	0.47	-0.16	1.00	1.00								
CTC[2]	**0.77**	**0.84**	**0.83**	-0.09	0.23	**0.83**	0.40	-0.16	1.00	1.00	1.00							
V%	**0.72**	**0.86**	**0.85**	-0.10	0.26	**0.73**	0.08	-0.17	**0.88**	**0.85**	**0.88**	1.00						
m%	-0.63	-0.69	-0.67	0.64	-0.10	-0.60	-0.34	0.21	-0.71	-0.71	**-0.70**	**-0.70**	1.00					
˚C	**-0.74**	-0.67	-0.57	0.16	-0.31	-0.69	-0.33	0.29	-0.66	-0.67	-0.66	-0.62	0.56	1.00				
Umidade	**0.80**	**0.74**	0.67	-0.17	0.14	0.69	0.53	-0.14	**0.79**	**0.81**	**0.79**	0.66	-0.65	**-0.75**	1.00			
Respiração	-0.57	**-0.71**	-0.64	0.17	-0.13	-0.65	-0.45	0.16	**-0.71**	**-0.72**	**-0.70**	-0.65	0.62	**0.75**	**0.83**	1.00		
RP	**-0.75**	-0.42	-0.29	0.06	-0.27	-0.47	-0.13	0.19	**-0.79**	-0.43	-0.43	-0.41	0.33	0.63	-0.52	0.53	1.00	
Umd RP	**0.77**	**0.76**	**0.73**	-0.19	0.10	0.66	0.59	-0.11	-0.44	**0.81**	**0.79**	0.66	**-0.70**	**-0.71**	**0.95**	**-0.82**	-0.42	1.00

CTC[1]: capacidade de troca de cátions à pH 7: CTC[2]: capacidade efetiva de troca de cátions

2.3.1.7 Análises Multivariadas

Na análise multivariada de agrupamentos (AA) foram agrupados os pontos individualizados pertencentes as áreas de SSP 60, SSP 30, floresta e Sol Pleno, em função das atributos químicos, físicos e biológicos do solo. O dendograma obtido na AA (Figura 2) apresenta no eixo vertical a distância euclidiana simples, variando de 0 a 800, e no eixo horizontal os pontos, identificados por suas respectivas áreas, formando os grupos homogêneos. Quanto menor a distância entre dois pontos maior é o grau de similaridade. Dois agrupamentos distintos foram formados (Figura 2), evidenciando a formação de dois sistemas de uso do solo.

A formação dos grupos dependeu da similaridade entre os pontos ao considerar-se as características inerentes a cada ponto, sendo que para os atributos umidade, temperatura e respiração do solo, que foram avaliados em vários ciclos utilizou-se a média. Foi observado que os pontos levantados na área Sol Pleno (monocultivo), constituíram grupo distinto, a direita do gráfico. Os pontos da área SSP 30, ficaram centralizados, contudo, próximo ao agrupamento Sol Pleno. Um grupo de pontos da área SSP 30 (7 pontos) compuseram o agrupamento Sol Pleno, evidenciado que tais pontos deste ambiente são similares aos pontos verificados em Sol Pleno. A esquerda do gráfico formou-se o agrupamento dos pontos do SSP 60 e da floresta denotando que nestes dois ambientes as condições do solo são similares. De modo geral houve a formação de um grupo que sofreu maior interferência antrópica, composto por Sol Pleno e SSP 30 e outro mais preservado composto por SSP 60 e floresta.

A separação dos dois grupos foi resultante da obtenção de dissimilaridade a uma distância acima de 600 (linha Fenon – traçada onde ocorreu o maior salto de dissimilaridade) (Figura 2). A similaridade entre as áreas SSP 30 e Sol Pleno é caracterizadas pela presença de pontos SSP 30 no agrupamento Sol Pleno. Já entre as áreas SSP 60 e floresta, a similaridade não é bem definida por grupos de pontos, havendo dispersão na aglomeração de subgrupos. Isto indica que houve grande similaridade entre zonas pertencentes as duas áreas e diferenças ente zonas dentro de uma mesma área.

Segundo estes resultados o raleamento em SSP 30 trouxe maiores alterações aos atributos do solo em relação a floresta, fazendo com que tal

sistema se assemelha-se a área sob monocultivo. Já o raleamento em SSP 60 afetou pouco as condições do solo, mantendo-o igual ao solo sob floresta (SCRHOTH et al., 2002). Isto demonstra que a formação de SSPs com mais de 30% de sombreamento (maior preservação da floresta secundária) preserva os atributos do solo e não permite a degradação como existente em monocultivos. Paudel et al., (2011) também reportam que sistema sob monocultivo podem permitir alterações negativas do solo, da água e do ar, mas que sistemas integrados tendem a manter o ambiente em equilíbrio.

Alfaia et al. (2006) avaliando o agrupamento de áreas distintas por meio da densidade populacional de árvores e em função dos atributos físicos do solo verificaram a formação de três agrupamentos principais, a saber: 1º grupo: áreas com populações de 1515 a 5050 árvores ha^{-1}; 2º grupo: áreas com populações de 1515 a 2438 árvores ha^{-1} e 3º grupo: áreas com populações de 836 a 1375 árvores ha^{-1}. Neste estudo a formação dos grupos também teve caráter quantitativo já que houve a formação de um grupo com até 120 árvores ha^{-1} e outro com mais de 180 árvores ha^{-1}. Desta forma a densidade arbórea, por afetar as condições do solo, participa da formação de agrupamentos.

Os dados utilizados na AA foram empregados numa análise fatorial (AF) para identificar elementos que serviram para a formação dos distintos grupos e das características que possuíram maior importância na formação destes grupos (Figura 3). Apenas dois fatores foram suficientes para explicar a formação dos grupos. Foi observada a formação de um primeiro fator, que é composto principalmente por atributos químicos do solo. Um segundo fator foi composto pelas condições de temperatura, umidade e respiração do solo.

Os atributos químicos que mais serviram para distinguir estes grupos foram os teores de Ca e os valores de CTC_{pH7}, SB e V%. Estas características foram as variáveis químicas mais expressivas na formação do primeiro fator de distinção entre grupos, sendo que o atributo Ca foi semelhante nas áreas com presença de árvores e diferente na área a Sol Pleno, enquanto que os demais atributos foram semelhantes dentro das áreas SSP 30 e Sol Pleno e dentro das áreas SSP 60 e floresta. Os atributos temperatura, umidade e respiração do solo também foram semelhantes dentro das áreas SSP 30 e Sol Pleno e dentro das áreas SSP 60 e

floresta. Isto denota que o raleamento afetou principalmente as condições químicas do solo.

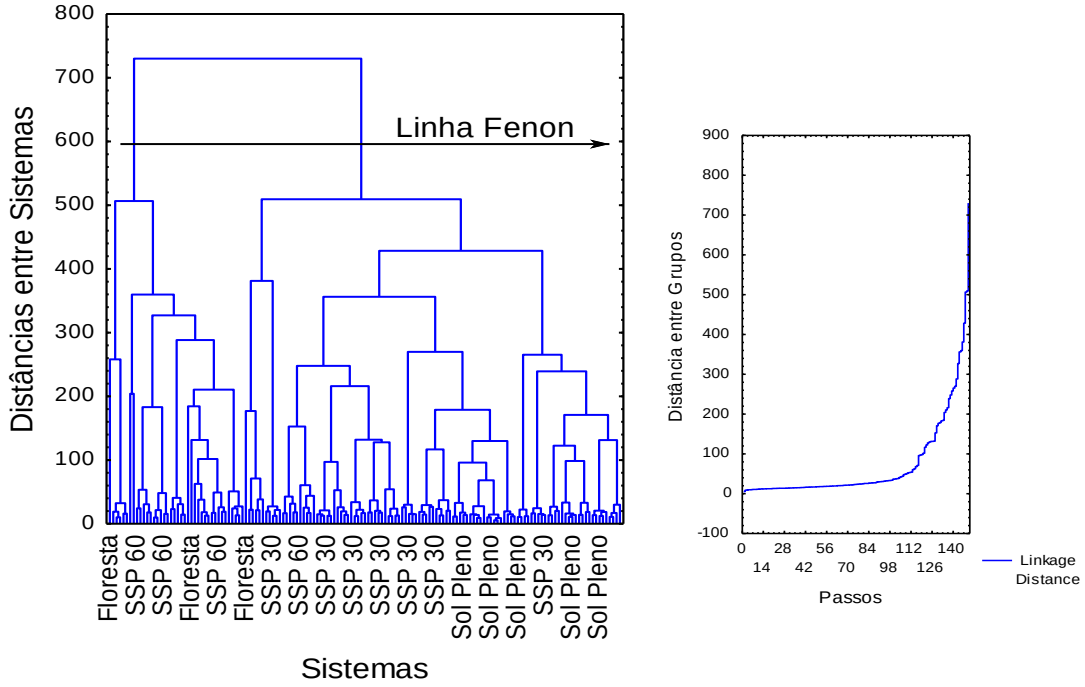


Figura 2. Dendograma de sistemas de uso do solo (floresta nativa, sistemas silvipastoris com 30 e 60% de sombreamento e monocultivo à Sol Pleno) construído por atributos químicos, físicos e biológicos do solo e formado pelo agrupamento de médias de grupos de pontos similares. Linha Fenon acusa a distância Euclidiana em que os agrupamentos tornan-se distintos.

Estes resultados evidenciam que a as condições químicas do solo podem ser restauradas quando ocorre a revegetação natural de áreas sob uso de pastagem (FUJISAKA et al., 1998) e que a adoção de SSPs pode manter as condições de fertilidade do solo semelhante ao ambiente natural (SCRHOTH et al., 2002; ALFAIA et al., 2004). Já SSPs com baixa densidade de árvores pode permitir alterações no solo semelhantes àquelas ocorridas em pastagem em monocultivo. As principais características que distinguem a formação dos grupos são a SB e a CTC, que possuem maiores valores nos ambientes floresta e SSP 60. Isto pode ser o resultado da maior taxa de ciclagem de nutrientes via serrapilheira bem como do maior aporte de MO ao solo (ALFAIA et al., 2004).

As semelhanças ente atributos químicos do solo no SSP 60 e na floresta significa que a dinâmica de nutrientes não foi drasticamente afetada por este nível de raleamento ao final de um ano de uso do sistema. Diante disto infere-se que a

presença do componente arbóreo em pastagem contribui para a manutenção da ciclagem de nutrientes (CARDENAS et al., 2008; ALFAIA et al., 2004), evitando a intensa depleção de nutrientes ao longo do uso, como verificado em sistema de monocultivo mal geridos.

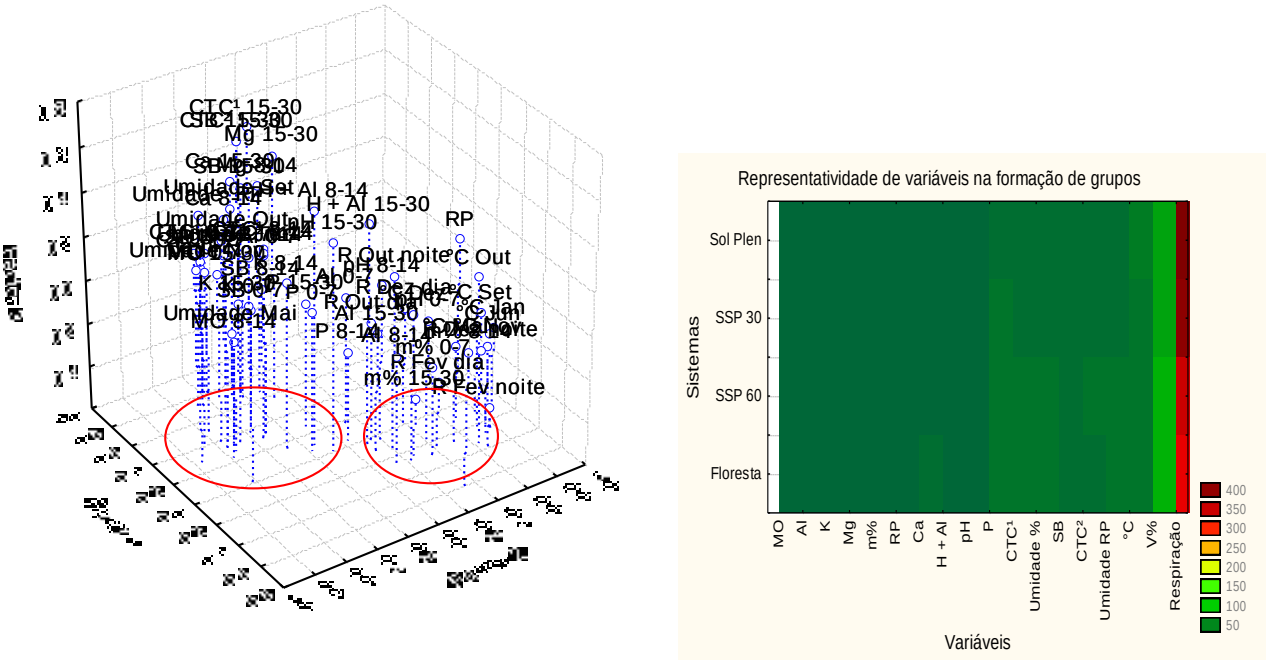


Figura 3. Formação de fatores que influenciam na constituição dos grupos distintos da AA e composição de cada fator obtido pelo método de análise fatorial. Características mais próximas do eixo do fator e mais distante da origem contribuem mais para sua formação. Características com mudanças na coloração em função do sistema de uso do solo são as mais evidentes na distinção dos agrupamentos.

A análise de componentes principais (ACP) foi utilizada para promover redução da dimensionalidade dos efeitos da variabilidade, de modo a sintetizar as principais características e as variações dos atributos do solo que ocorrem entre as áreas de SSP 60, SSP 30, floresta e Sol Pleno. Isto também serviu para elencar os atributos que mais foram afetas pelo raleamento da floresta para obtenção nos níveis de sombreamento de 30 e 60% após o período de revegetação natural e que mais diferem em relação ao sistema de monocultivo. Os autovetores que compuseram os componentes principais foram determinados pelos autovalores com maior correlação com a componente, sendo que os autovalores foram originados dos valores dos atributos reais (Figura 4).

Três componentes principais foram identificadas (Tabela 8): aquelas cujo os autovalores eram iguais ou maior que 1 ou quando explicavam, de forma

acumulada, mais de 70% da variabilidade total dos dados dos três sistemas. Desta forma, a variabilidade das áreas passou a ser explicada por três componentes, que representam o conjunto original de dados, ao invés de 60 atributos, com perda de explicação de apenas 29,4%. Silva Neto (2012) observou a formação de duas componentes principais para explicar a variação de atributos químicos do solo em sistemas integrados e naturais. Ele verificou perda de explicação média, em função da redução, de apenas 21,04%. Pang et al., (2006) observaram formação de três componentes principais para explicar a variação de atributos do solo em função de populações de árvores. Eles verificaram que estas três componentes explicaram 73% da variação total.

Tabela 8. Resumo dos valores dos componentes principais e porcentagem da variação por eles explicada.

Componentes	Autovalor	% da variância explicada	Variância explicada acumulada
1º	31.61479	53.58439	**53.5844**
2º	5.89384	9.98955	**63.5739**
3º	4.15006	7.03400	**70.6079**
4º	2.50016	4.23756	74.8455
5º	2.21837	3.75996	78.6055
6º	1.86451	3.16019	81.7656
7º	1.56405	2.65094	84.4166
8º	1.11422	1.88851	86.3051
9º	1.04427	1.76996	88.0750
10º	0.95244	1.61431	89.6894

A primeira componente principal explicou 53,58% da variação total dos dados (Tabela 8). Ela foi composta (correlacionada) pelos atributos químicos do solo: MO, Mg, Al, K, H+Al, pH, V% e m% nas camadas de 0-7, 8-14 e 15 a 30 cm, CTC_{pH7} na camada de 0-7 e 8-14 cm e CTC_{eftiva} na camada de 8-14 cm de profundidade (Tabela 9). Estes atributos identificam esta primeira e mais importante componente, com maior peso na classificação, como sendo uma variável da fertilidade do solo. Consequentemente o aspecto que mais distingue os sistemas floresta e SSP 60 dos sistemas SSP 30 e Sol Pleno é a condição química do solo. Silva Neto (2012), estudando ACP de atributos do solo em SSP, observou a formação de primeira componente principal explicando, em média, 52,83% da variância total. Ele verificou que as características como Ca, SB e m% formaram a componente e a classificou como uma variável da fertilidade do solo,

relacionada a capacidade do solo em reter bases ou Al. Pang et al. (2006) estudando ACP de atributos do solo sob densidades arbóreas observaram que a primeira componentes principal explicou 41,57% da variância total, sendo caracterizada pelos nutrientes do solo. As características que compunham esta componente eram a MO, K, P e CTC. Geissen e Guzman (2006) também reportam que a MO e m% são características de peso na composição de componentes principais.

As variáveis MO, Mg, Al, K, H+Al pH e m% apresentaram-se em condição oposta a SB, CTC_{pH7}, CTC_{eftiva} e V% (Tabela 9) na composição do 1º fator. Isto indica que parte da fração coloidal da MO esta ocupada por H+Al, o que reduz a bases trocáveis no solo (SB, CTC e V%). Estas mesmas variáveis são os atributos do solo que mais são afetados pela retirada de árvores para implantação de pastagens em monocultivo e que servem para distinguir estes ambientes, pois estes atributos de maior peso na correlação com a primeira componente, que é a principal e sempre a mais importante, são os mais importantes.

A segunda componente principal explicou apenas 9,98% da variação total dos dados (Tabela 8). Ela foi composta (correlacionada) pelas características SB, CTC_{pH7} e CTC_{eftiva} na camada de 15 a 30 cm de profundidade, RP e umidade do solo na camada superficial. Isto evidencia a participação de atributos físicos do solo na composição desta segunda componente, já que RP e retenção de água estão relacionadas com compactação, densidade, estruturação e porosidade do solo (SOUSA e ALVES, 2003; PAUDEL et al., 2011). Mesmo sendo modificada a ponto de integrar uma componente que serviu para distinção entre os sistemas, a modificação de atributos físicos em função do uso do solo ocorreu em menor intensidade em comparação com os atributos químicos. De modo geral esta componente pode ser caracterizada pela capacidade do solo reter cátions e seus atributos físicos. Silva Neto (2012), estudando ACP de atributos químicos do solo em SSP, observou que a formação de uma segunda componente principal, composta por CTC e m%, explicava 26,32% da variação total. As discrepâncias em relação a este estudo pode estar no fato de que o autor citado não avaliou condições físicas do solo. Já Pang et al., (2006) estudando ACP de atributos do solo sob densidades arbóreas observaram que uma segunda componente principal explicou 20,63% da variância total, sendo caracterizada por atributos

físicos do solo. As características que compunham esta componente eram a densidade, porosidade e capilaridade.

A variável RP apresentou-se em condição oposta a umidade do solo (Tabela 9) na composição do 2º fator. Isto indica que a medida que se eleva o conteúdo de água do solo reduz-se a RP.

As correlações entre 1º, e, 2º e 3º fator, e suas respectivas variáveis (Tabela 9), indicam relações contrárias ente as características. Logo, os atributos químicos e a umidade são inversamente proporcionais a RP e temperatura. Isto indica que as áreas mais férteis, com maiores teores de MO e consequentemente de umidade do solo, apresentam menores valores de RP e temperatura. De forma prática isto implica que a melhoria das condições químicas do solo durante o processo de revegetação e a manutenção desta condição no SSP 60 interferiram positivamente sobre os atributos químicos do solo, o que pode estar relacionado principalmente à efeitos da MO no solo.

A terceira componente principal explicou apenas 7,03% da variação total (Tabela 8). Ela foi composta (correlacionada) pela temperatura do solo ao longo dos ciclos avaliados (Tabela 9). Por compor o 3º fator, e pouco contribuir para a explicação da distinção dos ambientes, infere-se que a temperatura do solo tenha sido pouco influenciada pelos sistemas de uso do solo. Isto pode ser o resultado desta variável ser dependente de propriedades do solo, como a textura, que é semelhante em toda área ou MO, que foi menor apenas na área a Sol Pleno (Tabela 2). Pang et al., (2006) estudando ACP de atributos do solo sob densidades arbóreas observaram que uma terceira componente principal explicou apenas 11,23% da variância total, sendo caracterizada pela umidade do solo.

Tabela 9. Correlação entre as variáveis originais e os principais fatores que influenciam na formação das componentes principais.

	Componentes		
Variáveis	1º	2º	3º
MO 0-7	**-0.93868**	0.161108	-0.147470
MO 8-14	**-0.97152**	0.051582	-0.082841
MO 15-30	**-0.98138**	0.076742	-0.096161
Ca 0-7	0.29027	0.526857	-0.314752
Ca 8-14	-0.21253	0.635821	-0.336381
Ca 15-30	-0.46651	0.537120	-0.371729
Mg 0-7	**-0.90526**	0.226209	-0.214838
Mg 0-7	**-0.90526**	0.226209	-0.214838
Mg 8-14	**-0.93864**	0.195262	-0.183890
Mg 15-30	**-0.93468**	0.202237	-0.169907
Al 0-7	**-0.98655**	0.053221	-0.104142
Al 8-14	**-0.98760**	0.043601	-0.095676
Al 15-30	**-0.98659**	0.045149	-0.104772
P 0-7	-0.05258	0.386152	0.363927
P 8-14	-0.35425	0.334560	0.425020
P 15-30	-0.39139	0.488264	0.367451
K 0-7	**-0.98617**	0.051150	-0.106318
K 8-14	**-0.98630**	0.047959	-0.105686
K 15-30	**-0.98647**	0.050707	-0.104995
H + Al 0-7	**-0.87783**	0.170979	0.075425
H + Al 8-14	**-0.96340**	0.119019	-0.021428
H + Al 15-30	**-0.94946**	0.156512	-0.065148
pH 0-7	**-0.97199**	0.085085	-0.025945
pH 8-14	**-0.97232**	0.138416	0.002030
pH 15-30	**-0.96361**	0.135162	-0.002629
SB 0-7	0.58194	0.463235	-0.232766
SB 7-14	**0.85190**	-0.093806	-0.038013
SB 15-30	0.08951	**0.758123**	-0.393797
CTC¹ pH 7 0-7	**0.75748**	0.390425	-0.083149
CTC¹ pH 7 8-14	**0.87061**	-0.066193	-0.015604
CTC¹ pH 7 15-30	0.28077	**0.735710**	-0.271402
CTC² 0-7	0.59251	0.427368	-0.235135
CTC² 8-14	**0.85202**	-0.080670	-0.037991
CTC² 15-30	0.09821	**0.752877**	-0.394830
V% 0-7	**0.81061**	0.309820	0.124734
V% 8-14	**0.90420**	0.147575	0.263051
V% 15-30	**0.85455**	0.342778	0.064523
m% 0-7	**-0.98307**	0.043881	-0.051630
m% 8-14	**-0.95101**	-0.032800	-0.033901
m% 15-30	**-0.90780**	-0.039622	0.025663
˚C Mai	-0.43142	0.003096	0.476966
˚C Jun	-0.64368	-0.058573	0.367211
˚C Set	-0.52219	0.055384	0.389576
˚C Out	-0.46282	0.355263	**0.750456**
˚C Nov	-0.52591	0.362841	**-0.73725**
˚C Dez	-0.30008	0.297836	**-0.72245**
˚C Jan	0.24678	0.468323	**-0.71654**
Umidade Mai	0.26109	0.187020	0.065792
Umidade Jun	0.41761	0.343952	0.302004
Umidade Set	0.54383	0.402144	0.156270
Umidade Out	0.66168	0.286855	0.278000
Umidade Nov	0.27973	0.80068	0.231077
R Out dia	0.29419	-0.093916	-0.308737
R Out noite	0.30319	-0.171735	-0.372885
R Dez dia	0.25995	0.543723	0.211461
R Dez noite	-0.41149	-0.305133	-0.095529
R Fev dia	-0.12944	0.101915	0.256628
R Fev noite	-0.48507	-0.467350	0.259989
RP	0.06014	**0.979095**	-0.084006
Umidade RP	**-0.827397**	0.302491	0.151261

Diante desta síntese, fica evidente que a primeira componente principal representa os atributos químicos do solo. A segunda componente demonstra que os atributos físicos, representados pela RP e umidade do solo, foram modificados pelo tipo de uso. A terceira componente, de menor importância, foi a temperatura do solo. Isto indica que a revegetação natural restaura as condições do solo (FUJISAKA et al., 1998) e o uso sob SSP 60 mantém principalmente as características químicas do solo, havendo reflexos positivos sob a RP, umidade e temperatura do solo. Estes são os atributos que mais se distinguem nos ambientes estudados em função dos dados analisados e mais são alterados pelo processo de reimplantação de pastagens na forma de monocultivo ou SSP com 30% de sombreamento em relação a floresta. Estes mesmo parâmetros também são úteis para mensurar a qualidade do solo, sendo a MO comumente reportada na literatura (GEISEN e GUZMAN, 2006). Outros parâmetros qualificadores, como a respiração edáfica, também são mencionados como relevantes. Neste estudo isso não foi verificado porque estes índices qualitativos podem ser variáveis em função do tipo e uso do solo (TORNQUIST et al., 1999).

Paudel et al., (2011) mencionam que a similaridade entre atributos físicos e biológicos do solo sob diferentes usos ocorre quando as condições microclimáticas e de deposição de serrapilheira são uniformes. Neste estudo os atributos do solo foram afetados pelo tipo de uso e isso implica que os ambientes foram modificados em relação a floresta, principalmente o SSP 30 e Sol Pleno.

A ACP permitiu representar a distribuição da nuvem de variáveis dos atributos do solo sob diferentes usos. Na Figura 4 pode-se observar a relação das características reais com os componentes gerados e o grau de associação. O primeiro plano principal (1º vs. 2º componente principal) evidencia a formação da 1º componente, por variáveis de caráter químico, e da a 2º componente, por variáveis de caráter físico. O terceiro plano principal (3º vs. 2º componente principal) demonstra efeitos da temperatura do solo.

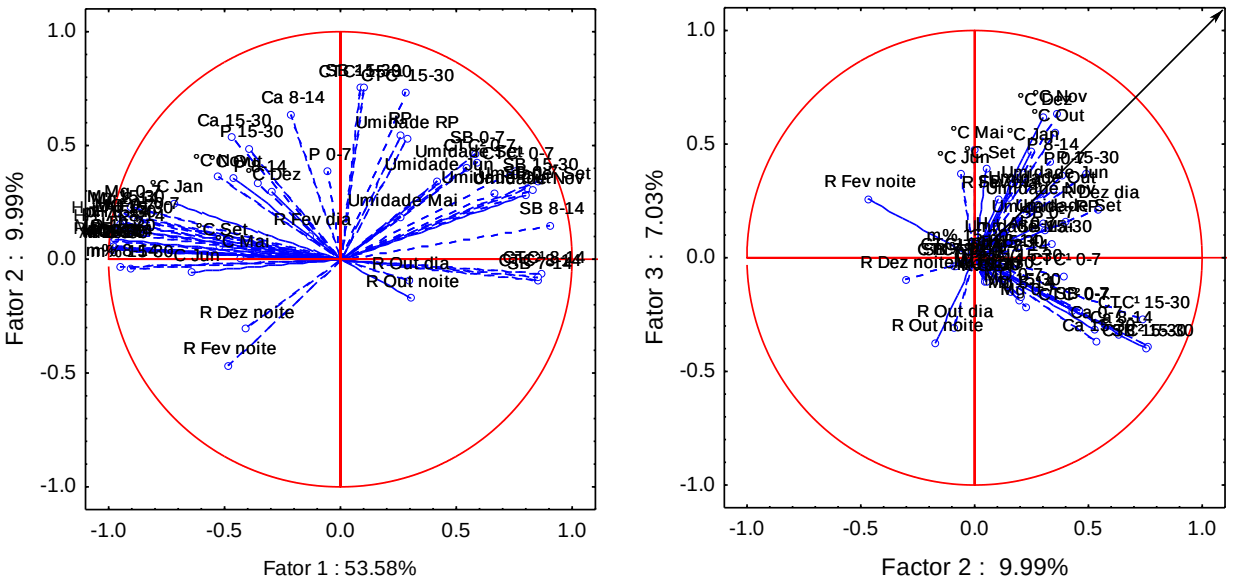


Figura 4. Variáveis reais tomadas na composição das componentes principais e circulo de correlação formado entre características e as componentes principais, em função de atributos químicos, físicos e biológicos do solo. Atributos oriundos dos diferentes tipos de uso do solo (floresta nativa, sistemas silvipastoris com 30 e 60% de sombreamento e monocultivo à Sol Pleno). Características próximas aos eixos das componentes e com raio próximo ao circulo possuem maior relevância.

2.3.2 Respostas das avaliações geostatísticas e agrupamento Fuzzy

2.3.2.1 Avaliação Geoestatística

A partir da determinação das variáveis que compuseram as componentes principais, por serem de maior relevância na distinção dos sistemas e por sofrerem maior influência do tipo de uso do solo, conduziu-se a avaliação da distribuição espacial de cada um destes atributos em função do ambiente.

A estatística descritiva dos dados das principais variáveis (Tabela 10) revela que a maior parte dos atributos relacionados a fertilidade do solo não apresentaram distribuição normal ao teste de Kolmogorov-Smirnov (5%). No entanto, o estudo geoestatístico de um conjunto dados não exige que esses tenham distribuição normal (CORÁ e BERALDO, 2006; ISAAKS e SRIVASTAVA, 1989). Silva Neto (2012) também evidencia falta de normalidade em vários dados de atributos químicos de solo em ambientes de floresta, SSPs e monocultivo.

O coeficiente de variação (CV) é um parâmetro clássico para se verificar a heterogeneidade de atributos do solo (CERRI et al., 2004). Os CV (Tabela 10) dos

atributos MO, Mg, K, SB, CTC_{pH7}, m% e RP foram superiores ou muito próximos a 30% (Tabela 11), indicando média variabilidade (12<CV<60%) (WARRICK e NIELSEN, 1980). Estes dados sugerem que as médias podem ter pouco significado e a avaliação deve ser feita através da variabilidade espacial, por reduzir o erro de estimativas médias, já que a média geral pouco representa o ambiente (SILVA NETO et al., 2012), haja vista que um mesmo ambiente possui distintas zonas com variados valores dos atributos do solo, que possuem variação regionalizada, apresentando dependência espacial entre os ambientes. A análise variográfica pôde quantificar e caracterizar esta variação (CERRI et al., 2004). Ainda, a variação dos atributos fisicoquímicos e biológicos é alterada entre locais, dentro de um mesmo sistema, sob e fora à coroa das árvores e isso aumenta a dispersão dos dados em torno da média. Isto pode tornar os dados impróprios para estatística clássica, mas adequados para análises espaciais.

As variações dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo dentro dos sistemas integrados podem ocorrer pela sensibilidade à zonas sob as copas de aglomerados de árvores e/ou sob clareiras, sendo que sob a copa pode haver maior deposição de nutrientes e MO e menor absorção de elementos pelo pasto. Wall (2006) encontrou que sob a copa de árvores o desenvolvimento do pasto é de apenas 32% do total à sol pleno, enquanto que o desenvolvimento sob clareira é de 50% podendo chegar a ser parecido com a produção de sistemas a céu aberto. Isso causa uma alta variabilidade dentro dos sistemas, elevando os coeficientes de variação. Cavalcante et al. (2007) reportam aumento da variabilidade de atributos do solo em SSPs devido o efeito de deposição de elementos em locais específicos.

Os maiores CV para MO, K, SB e m% indicam que estes atributos sofreram maior interferência da variação dentro dos ambientes e não somente do tipo de uso do solo, podendo esta variabilidade estar condicionada pelo arranjo aleatório das árvores dentro dos sistemas integrados, a ausência de árvores em Sol Pleno, a diversidade arbórea na floresta nativa e malha de coleta dos dados, que não considerou ambientes específicos para as coletas. As variações para MO, K e SB podem ser oriundas do efeito das copas das árvores, onde há elevada deposição de serrapilheira (MO), lavagem de K das folhagens e ciclagem de cátions básicos (ALFAIA et al., 2004). Os valores de m% podem sofre efeitos da MO, já que pode

haver adsorção de Al à compostos orgânicos (formação de quelatos) reduzindo o Al trocável (PAUDEL et al., 2011). Já os valores de pH, V% e °C do solo foram menos afetados pelas condições inerentes a cada tipo de uso do solo. Para pH e V% essa maior homogeneidade pode ser resultado da aplicação de calcário na ocasião da implantação dos sistemas. Já a temperatura do solo pôde se manter mais estável porque mesmo fora da copa das árvores o solo foi sombreado pelo pasto.

Silva Neto et al. (2012) também reportam elevados valores de CV para diferentes atributos do solo em sistemas de interação floresta pasto e afirma que nestas condições somente a avaliação por meio da média pode levar a sub ou superestimativas da fertilidade do solo. Neste sentido, os altos CV indicam que a deposição e a liberação de nutrientes pode ocorrer em locais específicos, como debaixo das coroas das árvores, sendo isso desfavorável a produção do pasto, mas de modo geral, benéfico a restauração das características químicas do solo.

Os coeficientes de assimetria e curtose dos atributos MO, Al, H+Al, K, umidade, SB, CTC_{ph7} e V% foram considerados de moderados a forte (Tabela 10), revelando maiores dispersões dos dados em torno da média, com valores médios desencontrados da mediana, próximos aos extremos da curva de distribuição e pequenos ou grandes grupos com altos valores. Assim, estes atributos tiveram distribuição assimétrica e conformação platicúrtica ou leptocúrtica. Estes resultados podem ser tendenciados pela maior deposição de elementos nas áreas integradas e na floresta e depleção de nutrientes no SSP 30 e em Sol Pleno e de modo geral por serem oriundos de áreas sob diferentes tipos de uso, que causa variabilidade do ambiente (SILVA NETO, 2012). Cerri et al. (2004) também mencionam que é comum atributos do solo apresentarem coeficientes de assimetria positivos.

Para os dados que tenderam a uma aproximação mais simétrica (Tabela 10), e que não estiveram muito próximo à valores extremos, positivos ou negativos, nas caudas do gráfico de distribuição, houve uma variabilidade estruturada em função do uso do solo e com algum tipo de forte dependência espacial. De modo geral, a falta de normalidade dos dados das características mensuradas não as descredencia para a análise geoestatística, embora a

ocorrência de distribuições muito assimétricas não seja interessante (ISAAKS e SRIVASTAVA, 1989) por afetar negativamente a veracidade dos mapas.

Tabela 10. Estatística descritiva dos atributos do solo que compuseram componentes principais em sistema de monocultivo (Sol Pleno – SP), sistemas silvipastoril com 30 e 60 % de sombreamento (SSP 30 e SSP 60) e floresta nativa após ano de implantação dos sistemas solteiros e integrados.

Atributos do Solo	Parâmetros									
	Min.	Máx.	Md	Mn	Mo	Desv.Pad.	Coeficiente			Normalidade
							Variação	Assimetria	Curtose	KS
Matéria orgânica	0,36	2,43	1,23	1,24	1,32	0,48	39,21	0,21	-0,94	Não
Mg	1,18	4,27	2,39	2,16	1,96	0,71	29,72	0,83	-0,20	Não
Al	0,31	0,32	0,30	0,30	0,29	0,06	21,95	2,99	0,47	Sim
K	0,01	0,13	0,04	0,46	0,47	0,021	45,36	1,01	2,06	Não
H + Al	3,59	6,16	4,76	4,73	4,84	0,50	10,55	0,38	-0,18	Sim
pH	4,5	5,9	5,27	5,33	5,43	0,28	5,31	-0,43	0,7	Não
Soma de Bases	7,54	30,2	14,55	12,65	18,3	5,14	35,38	0,84	-0,16	Não
CTC pH 7	12,04	35,28	19,31	17,13	22,6	5,36	27,79	0,80	-0,28	Não
V %	60,21	83,26	70,87	69,79	76,6	5,25	7,40	0,33	-0,84	Não
m %	0,66	6,31	2,71	2,74	2,74	1,65	34,87	0,42	0,31	Sim
°C	22,80	33,63	28,11	27,57	25,6	2,31	8,23	0,48	-0,63	Não
Umidade	12,68	23,38	16,84	15,76	19,8	3,37	20,01	0,54	-1,27	Não
Resistência a Penetração	0,98	4,21	2,28	2,15	1,98	0,70	30,88	0,56	-0,20	Não

KS: Teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov significativo a 5%. Md: média; Mn: mediana; Mo: moda. CTC: capacidade de troca de cátios; V%: saturação por bases; m% saturação por alumínio.

Na análise geoestatística, pela construção dos variogramas, evidenciou-se que todas as variáveis analisadas apresentaram dependência espacial definida por semivariogramas unidirecionais ajustados aos modelos teóricos esférico, exponencial e linear (Tabela 11) com variações isotrópicas. O semivariogramas evidenciaram duas estruturas de variabilidade bem distintas, a saber: o efeito pepita e o patamar (CERRI et al., 2004). Várias pesquisas têm mostrado que os modelos matemático de distribuição espacial esféricos e exponenciais são os modelos teóricos comuns aos atributos dos solos (CERRI et al., 2004; CORÁ et al., 2004; CORRÊA et al., 2009). Silva Neto (2012) também relata que características do solo se ajustam a modelos esféricos, exponenciais e gaussianos. Os dados se ajustaram bem aos modelos definidos, haja vista os altos valores de coeficientes de determinação (R^2) e baixos erros (Soma de Quadrados dos Resíduos - SQR) (Tabela 8) excetuando-se os atributos Al e pH que apresentaram médio grau de dependência espacial (GDE). Estas descontinuidade da variação de Al e pH podem ser resultante do processo de calagem. Os coeficientes de determinação foram altos (0,74 a 1,00), exceto para Al (0,42), indicando que os dados se ajustaram bem aos modelos definidos.

Silva Neto (2012), trabalhando com dados de atributos químicos do solo sob diferentes usos (floresta, SSP, monocultivo) também verificou bom ajuste dos dados reais à modelo teóricos pré-definidos, com GDE variando de 84 a 100%. Esta variação estrutura indica que a variabilidade causada pelo tipo de uso do solo é maior que a existente ao acaso e em função da variação intrínseca natural do solo (CERRI et al., 2004).

Os valores de grau de dependência espacial (GDE) das variáveis MO, Mg, H+Al, SB, CTC_{pH7}, V%, m% °C, umidade e RP (Tabela 10) que compuseram as componentes principais foram classificados como forte. Isso indica que o componente relacionado com a variabilidade aleatória (C_0) é bem menor que o componente associado com a variação estruturada ($C_1 = C_0 – C$, onde C é o Patamar), oriunda de uma dependência dos dados em função do tipo de uso do solo (SILVA NETO et al., 2012; CERRI et al. 2004). Consequentemente, estes são atributos que possuem variação espacial com dependência estruturada em função do uso do solo. Cambardella et al. (2004) reportam que elevados GDE

para atributos do solo podem ser resultado de fatores intrínsecos, como material de origem e relevo.

Diante disto, o fenômeno da variação espacial, descrito pelos modelos ajustados aos semivariogramas, pode ser representado, com precisão pela interpolação (VIEIRA et al., 2000), gerando valores médios em locais não amostrados com o mínimo de erro. Este processo identificou zonas distintas para fertilidade do solo nos diferentes ambientes, onde os dados que as geraram possuíam dependência espacial e se modificavam em função do sistema de uso. Como os valores de Patamar foram bem definidos para as variáveis com GDE forte, infere-se sobre a não ocorrência do efeito proporcional, onde a média da variabilidade (variância) é constante na área de estudo, fato que invalida a dependência espacial (SILVA NETO et al., 2012).

Os valores de alcance (Tabela 11) foram considerados aceitáveis, por serem maiores que as distâncias entre os pontos de coleta da malha, indicando que o dimencionamento da malha e número de pontos amostrais foi adequado para expressar a dependência espacial dos atributos do solo. Isto pode ser constatado pelos baixos valores do efeito pepita, já que Cerri et al. (2004) observou que elevados valores de efeitos pepita podem estar associados ao mal dimensionamento da malha de coleta, o que reflete no alcance. Estes valores indicam a distância máxima em que os pontos de amostragem estão correlacionados entre si e também podem indicar os limites de unidades de manejo e/ou uso condições de fertilidade do solo. Ainda, o alcance mostra o raio no qual o pontos contidos são tão similares que podem ser usados para prever um valor dentro deste raio (SILVA NETO et al., 2012). Os alcances variaram de 135 a 510 m. Silva Neto (2012) avaliando atributos do solo sob SSPs, monocultivo e floresta nativa, obteve alcances para dados de atributos do solo com variação 11,91 a 208 m. Isto demonstra maior homogeneidade da distribuição espacial dos atributos no presente estudo.

Os valores de alcance para K, SB, CTC_{pH7}, °C e umidade, foram relativamente baixos (Tabela 11), evidenciando maiores variações à pequenas distâncias (CERRI et al., 2004), que significam que estas características sofreram maior variação em função do uso do solo e mais especificamente dentro de cada sistema de uso, o que pode ter ocorrido devido os processos de ciclagem de

nutrientes em zonas distintas, distribuição aleatória das espécies arbóreas, teores de MO nos diferentes sistemas e zonas, e/ou a ausência de serrapilheira na área a Sol Pleno, gerando menor e/ou fragmentação da continuidade destes atributos no espaço (SILVA NETO et al., 2012). Já os maiores alcances, observados para MO, Mg, Al, H+Al, pH, V%, m% e RP (Tabela 12), que apresentaram menores coeficientes de variação, indicam continuidade dentro de cada sistema e mudança gradativa e contínua entre os sistemas, embora em menor magnitude. Logo, estes são atributos que sofrem maior variação no ambiente devido o tipo de uso do solo. Os maiores alcances para Mg, Al, H+Al, pH, V%, m% podem ser resultados da homogeneização destes atributos dentro dos sistemas por efeitos da calagem.

Tabela 11. Modelos e parâmetros de semivariogramas ajustados à valores de atributos do solo em sistema de monocultivo (Sol Pleno), sistemas silvipastoris com 30 e 60 % de sombreamento (SSP 30 e SSP 60) e floresta nativa que compuseram componentes principais. Atributos avaliados após ano de implantação dos sistemas solteiros e integrados.

		Parâmetros						
Atributo	Modelo	C_0	C_0 + C	Alcance (m)	GDE(%)	Classe	R^2	SQR
Matéria orgânica	Esf.	0,024	0,62	346	0,96	Forte	0,99	$7,5e^{-04}$
Mg	Esf.	0,12	1,32	410	0,90	Forte	0,96	0,011
Al	Exp.	0,0038	0,0076	510	0,60	Médio	0,42	$1,5e^{-06}$
K	Esf.	0,00014	0,00045	135	0,68	Médio	0,90	$7,7e^{-09}$
H + Al	Esf.	0,13	0,51	410	0,74	Forte	0,94	$1,7e^{-03}$
pH	Exp.	0,066	0,13	376	0,50	Médio	0,76	$9,8e^{-05}$
Soma de Bases	Esf.	4,5	50	252	0,91	Forte	0,97	32,1
CTC pH 7	Esf.	3,6	58,20	267	0,94	Forte	0,97	38,3
V %	Esf.	9,2	58,21	329	0,84	Forte	0,98	11,3
m %	Esf.	0,43	2,58	351,4	0,83	Forte	0,95	0,019
°C	Esf.	0,01	9,02	200	0,99	Forte	0,98	1,29
Umidade	Lin.	0,01	21,01	218	1	Forte	0,99	6,09
Resistência a Penetração	Esf.	0,14	0,91	368	0,85	Forte	0,95	$4,4e^{-03}$

Exp.: Exponencial; Esf.: Esférico; Lin.: Linear C_0: Efeito Pepita; C_0 + C: Patamar (efeito pepita + contribuição). GDE: Grau de dependência espacial. SQR: Soma de quadrados do resíduo. R^2: coeficiente de determinação. CTC: capacidade de troca de cátios; V%: saturação por bases; m% saturação por alumínio.

A partir dos modelos obtidos nos semivariogramas ajustados para cada característica de interesse da ACP, e em função do uso do solo, estimaram-se os valores das variáveis de maior importância para os locais não amostrados, por intermédio da interpolação de krigagem ordinária (CERRI et al., 2004). Este processo quantifica a variabilidade, promove uma interpolação racional e estima a

variância dos valores interpolados (FENG et al., 2004). Finalmente, com os valores gerados pela krigagem foi possível construir mapas de contorno que expressaram a variabilidade espacial para cada atributo do solo relevante para a ACP e que teve efeito na distinção dos sistemas. Os resultados permitiram caracterizar os fenômenos da variação espacial para cada atributo em função do uso do solo (Figuras 5 e 6). De modo geral os tipos de uso do solo promoveram variação dos atributos do solo ao longo do espaço, sendo as ferramentas empregadas adequadas para detectar e quantificar a variação total (CERRI et al., 2004).

Na Figura 5 são apresentados os mapas de isolinhas e distribuição espacial dos atributos (média das camadas de 0 a 30 cm de profundidade) MO, Mg, Al, K, H+Al, pH, SB, CTC_{pH7}, pH, V% e m%. É possível observar que os maiores teores de MO, Mg, K, H, SB, CTC e V% ocorreram nas áreas de floresta e SSP 60. Isto evidencia a capacidade de manutenção das condições do solo pelo SSP 60. Já o sistema a Sol Pleno apresentou menores valores destes atributos e maiores valores de pH e m%. Isto é indicativo de que neste sistema esta ocorrendo a depleção da MO e de cátions básicos em relação a floresta. Embora o pH esteja mais elevado, possivelmente por efeito da calagem, a remoção das bases do complexo de troca dos coloides esta permitindo a adsorção de Al. Silva Neto (2012) também reporta que a remoção da floresta e a correção do solo reduzem a acidez potencial e elevam os teores de Mg do solo, situação também observada neste estudo. Ele verificou menores valores de pH do solo sob floresta (2,3 a 3,8) em relação a SSPs (3,0 a 4,0) e monocultivo (3,5 a 4,8), também concordando com este estudo. Nos SSPs o efeito da calagem sob o pH pode ter sido menor devido a constante produção de MO. Geissen e Guzman (2006) também mencionam que solos sob floresta são naturalmente mais ácidos.

Tornquist et al. (1999) reportam que pastagens com presença de componente arbóreo mantém maior acidez ativa do solo. Isso ocorre porque a regeneração vegetal (como em um período de pousio) promove a diminuição do pH devido à vários mecanismos que liberam íons H como cátions livres, a saber: decomposição de matéria orgânica de ácidos orgânicos, respiração raiz e nitrificação. Contraditoriamente eles observaram maiores valores de SB, em especial K, no solo de ambientes sob monocultivo de pastagem e atribuíram isso

ao fato das árvores dos SSPs serem muitos exigentes, mantendo grandes quantidade dos nutrientes em seus tecidos. Neste estudo os babaçus não são tidos como muito exigentes e frequentemente compõem a vegetação de áreas degradadas. Alfaia et al. (2004) reportam que ocorre redução dos teores de K em solos sob SSPs quando a espécie arbórea é exigente neste nutriente e elevação dos teores de K no solo quanto a espécie tende a ciclar o elemento das camadas mais profundas para a superfície. Os dados sugerem que neste estudo o segundo evento tenha ocorrido, já que nos SSPs os teores de K foram mais elevados.

O SSP 30 apresentou valores de MO, Mg, Al, K, H+Al, pH, SB, CTC_{pH7}, V% e m% dentro do intervalo observado na área a Sol Pleno. Somente em algumas zonas dentro deste sistema apresentaram valores de MO, Mg, K, SB, CTC e V% dentro da faixa observada em SSP 60 e floresta. Isto evidencia que a magnitude de alteração da floresta secundária para alcançar o nível de sombreamento de 30% (maior nível de raleamento), comprometeu a capacidade de resiliência e manutenção das condições do solo, sendo parecida com a alteração provocada para implantar o sistema de monocultivo, onde há total retirada das árvores.

Menores teores de MO no SSP 30 podem estar ocorrendo porque quando a floresta é convertida à pasto, ocorre, a curto prazo, uma redução do C do solo oriundo da floresta e a longo prazo o aumento do C do solo oriundo do pasto (ALFAIA et al., 2004). Neste sentido infere-se que a maior intensidade de alteração do ambiente SSP 30, tornando-o mais parecido com a pastagem em monocultivo, reduziu o C do solo oriundo da floresta, mas o curto tempo de implantação não foi suficiente para elevar o C do solo oriundo do pasto. De modo geral as áreas sob floresta e SSP 60 foram mais férteis que as áreas SSP 30 e Sol Pleno. Geissen e Guzman (2006) também relatam sob o fato de áreas de floresta serem mais férteis que áreas sob pastagem, mesmo sendo a floresta implantada na mesma época do pasto. Eles observaram isso através de indicadores biológicos, como número e biomassa de minhocas. Isto confirma uma das hipóteses deste estudo, de que a floresta pode revitalizar as condições do solo (BLINN et al., 2013).

Tal resultado pode ser confirmado ao analisar-se a Tabela 1, onde as condições químicas do solo sob os ambientes floresta, SSP 60 e SSP 30 eram parecidas entre si e distintas da área a Sol Pleno na ocasião da implantação do

experimento. Ao final de um ano de uso dos SSPs somente no SSP 30 houve redução da fertilidade do solo, tornando-o parecido com o sistema sob monocultivo. Isto evidencia que sistemas ambientais em estágio de regeneração são sensíveis as ações de manejo (ALFAIA et al., 2004). Desjardins et al. (1994) e Fujisaka et al. (1998) mencionam que a conversão de floresta em pasto pode reduzir características como a MO do solo, e, consequentemente sua fertilidade. Eles relatam que esta alteração reduz o C ligado a fração argila e mensuraram que a conversão de floresta à pasto promoveu redução deste tipo de C de 55% para 42% ao longo de 15 anos.

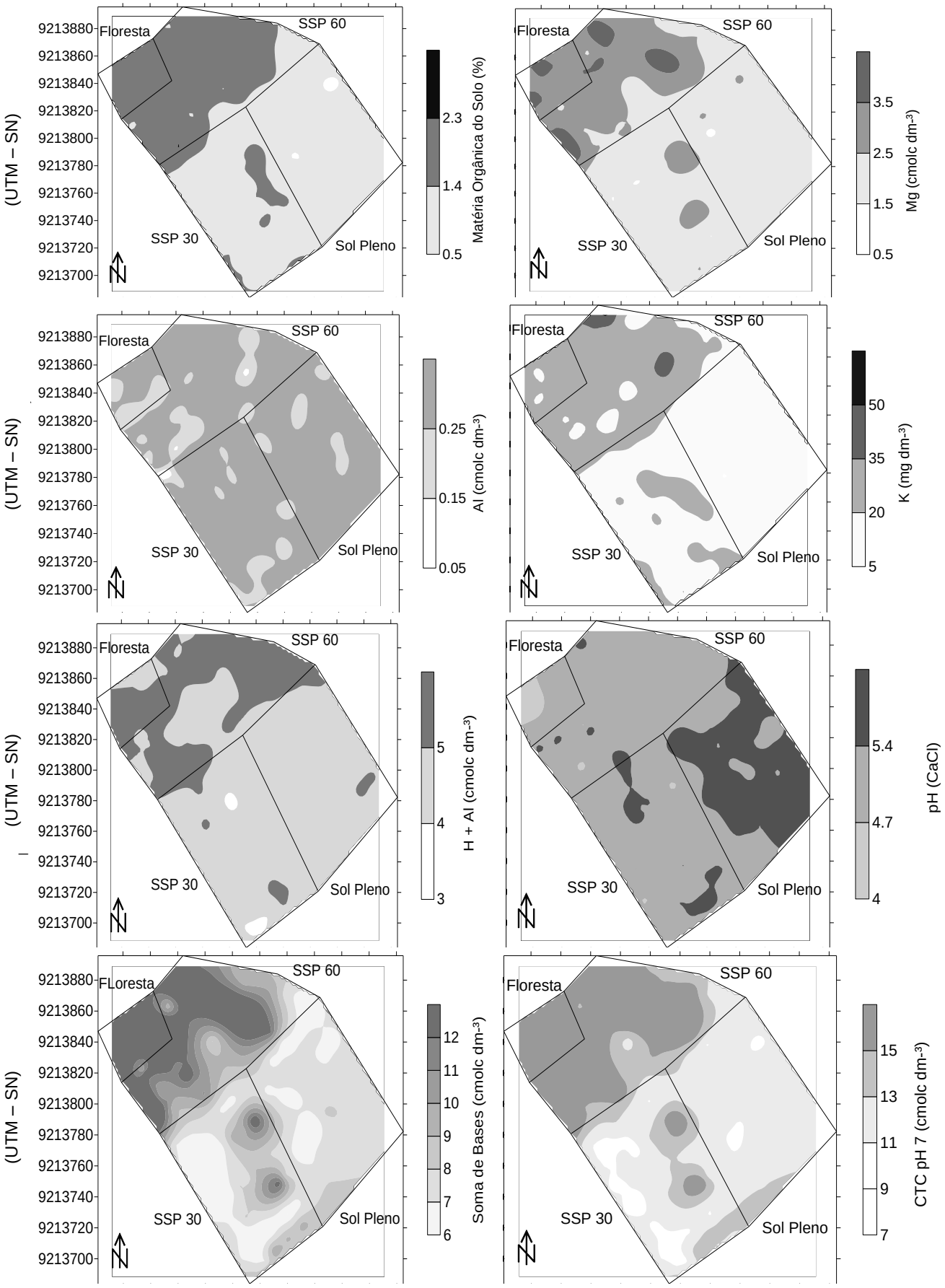
Nos três sistemas com componente arbóreo (SSP 30, SSP 60 e floresta) a deposição de serrapilheira foi bem parecida (dados não apresentados) o que sugere que a ciclagem de nutrientes por parte das árvores não foi completamente comprometida no SSP 30. Desta forma a redução da fertilidade deste sistema em relação o SSP 60, pode estar relacionada a maior exportação de nutrientes (ALFAIA et al., 2004) via pastejo, já que o SSP 30 apresentou maior taxa de lotação por ovinos que o SSP 60, ou a redução do conteúdo de MO do solo devido a maior taxa de respiração edáfica, que reduz a CTC, permite a lixiviação de nutrientes diminuindo os valores de SB e V% (ALFAIA et al., 2004). Schroth et al. (2002) observou que a agricultura tradicional (monocultivo) pode reduzir os teores de MO na camada superficial do solo.

A preservação das condições químicas do solo sob SSP 60, mesmo após o raleamento e um ano de uso, pode estar relacionada aos efeitos da MO. Ela eleva a CTC do solo e isso favorece a adsorção de cátions trocáveis, como Mg e K, aumentando os valores de SB e V%, melhorando também a parte física do solo (SOUSA e ALVES, 2003). Outros efeitos da MO estão relacionados a acidificação do solo devido a degradação de composto orgânicos hidrocarbonados e a liberção de H^+. Desta forma as áreas com presença do componente arbóreo apresentaram menor valor de pH, principalmente a floresta. Neste sentido foram evidenciados maiores valores de H+Al nas áreas SSP 60 e floresta. Como os valores de Al foram em média maiores em Sol Pleno (Tabela 2) o H compôs a maior parte dos cátions ácidos nos ambiente com componente arbóreo. Paudel et al. (2011) reportam que solo sob vegetação perene e densa apresenta maior acúmulo de MO, pois ocorre rizodeposição do componente arbóreo e forrageiro.

Tornquist et al. (1999) também menciona que há maior entrada de C no solo de SSPs que no solo sob monocultivo de pastagem.

Os maiores valores médios de Al (Tabela 2) verificados em Sol Pleno podem estar relacionados ao fato de que nos SSPs e na floresta, onde há maior teor de MO, houve a formação que quelatos, complexando Al com compostos orgânicos, como ácidos orgânicos protonados, e reduzindo sua disponibilidade. Paudel et al. (2011) reportam que em sistemas com maior densidade de raízes há maior produção de compostos orgânicos ativos. Alfaia et al. (2004) também menciona que em SSP pode ocorrer a neutralização do Al em relação a áreas de pastagem convencional.

O mapa de isolinhas para Al não permite claramente a distinção das áreas por concentração deste elemento em função do uso do solo. Isto pode ser o resultado do baixo grau de dependência espacial e baixo ajuste ao coeficiente de determinação deste atributo (Tabela 11). Isso ainda pode ser o resultado da calagem, que pode ter comprometido a dependência espacial. Ainda a calagem pode ter homogeneizado os teores de Ca do solo mesmo sob diferentes usos, o que fez com que este elemento não servisse para diferenciação das áreas, não compondo, desta forma, componentes da ACP.


(UTM – SN)
9213880
9213860
9213840
9213820
9213800
9213780
9213760
9213740
9213720
9213700
Floresta
SSP 60
SSP 30
Sol Pleno
Matéria Orgânica do Solo (%)
2.3
1.4
0.5
Mg (cmolc dm-3)
3.5
2.5
1.5
0.5
Al (cmolc dm-3)
0.25
0.15
0.05
K (mg dm-3)
50
35
20
5
H + Al (cmolc dm-3)
5
4
3
pH (CaCl)
5.4
4.7
4
Soma de Bases (cmolc dm-3)
12
11
10
9
8
7
6
CTC pH 7 (cmolc dm-3)
15
13
11
9
7

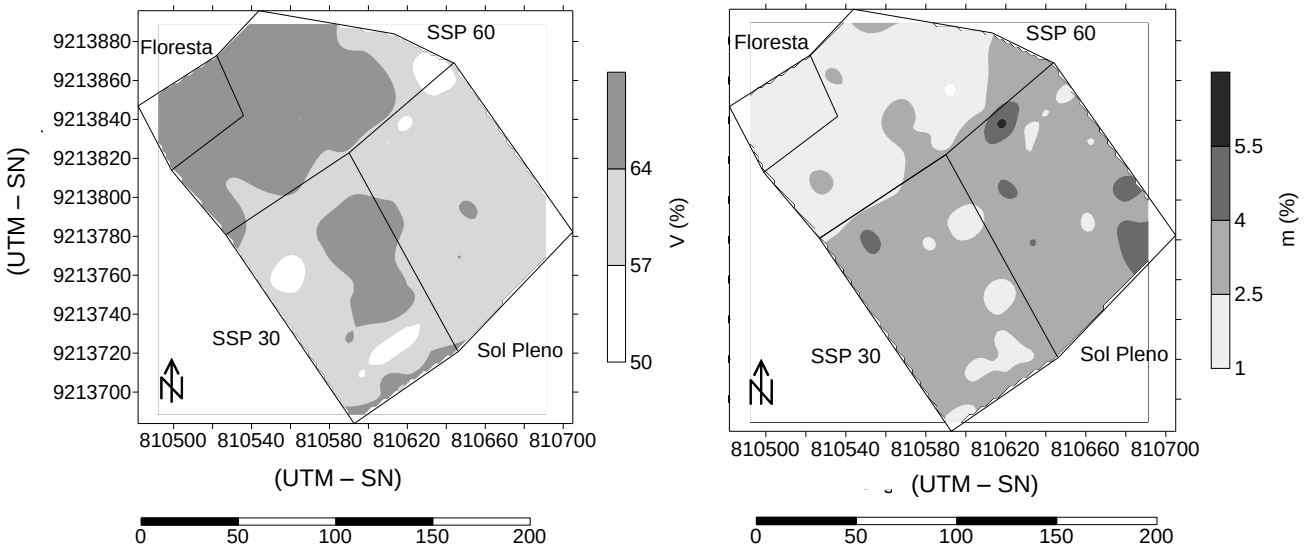


Figura 5. Mapas de contorno da distribuição espacial de atributos químicos do solo, que apresentam significância na formação de componentes principais, em função do tipo de uso.

Na Figura 6 são apresentados os mapas de isolinhas e distribuição espacial dos atributos temperatura, umidade e RP do solo. É possível observar que os maiores valores de temperatura (29 a 32 °C) e RP (3 a 4 MPa) ocorreram em zonas dentro da área a Sol Pleno. Isto evidencia que o monocultivo altera mais estes atributos do solo que os sistemas integrados em comparação à floresta, permitindo elevadas temperaturas do solo e compactação. Possivelmente os maiores valores destes atributos em Sol Pleno estão relacionados a menor umidade do solo, já que o menor sombreamento permite a incidência da radiação direta na superfície do solo e eleva a evaporação da água. Desta forma, o SSP 60 e a floresta apresentaram os maiores valores de umidade do solo, ao passo que o sistema a Sol Pleno apresentou o menor.

A MO do solo também interfere diretamente nos valores de umidade e RP. Ela é responsável por armazenar água e reduzir a RP. Como a área Sol Pleno apresentou os menores valores de MO (Tabela 2), pode-se inferir sob seus efeitos nos atributos umidade e RP. Scrhoth et al. (2002) e Blinn et al. (2002) também observaram que a transformação de floresta secundária e primária em área agrícola sub monocultivo pode reduzir os estoques de C do solo. Em contrapartida eles observaram que sistemas integrados multiestratos apresentam teor de MO do solo muito semelhantes a floresta nativa, fato confirmado neste estudo. Van Noordwijk et al. (1997) também relata a diminuição da MO do solo

sob cultivo em relação a floresta, primária e secundária. Eles comentam que isso ocorre principalmente na camada de 0-10 cm de profundidade, mas afeta negativamente a umidade e densidade do solo. Desjardins et al., (2004) mencionam que a transformação da vegetação nativa leva a modificações das características químicas e físicas do solo, podendo induzir alteração no conteúdo de C, o que consequentemente altera a capacidade de retenção de água e a RP. Estes autores observaram que solos com maior teor de MO apresentaram menor densidade ao longo de 15 anos, que reflete diretamente na RP.

Silva e Alves (2003), ao avaliarem diferentes tipos de uso de solo, também verificaram que sistemas de pastagem em monocultivo tende elevar a densidade do solo (PAUDEL et al., 2011; SCRHOTH et al., 2002) e consequentemente os valores de RP em relação a floresta nativa. Ao mesmo tempo estes autores verificaram que ambientes com maior RP e densidade possuíam menores tores de MO. A redução da MO em sistemas de monocultivo, segundos os autores, esta relacionada a diminuição da deposição de material orgânico de difícil decomposição (reclacitrante) e a maior taxa de decomposição da MO humificada (maior respiração edáfica – Tabela 5). Embora os autores não tenham verificado relação concreta entre a umidade do solo e a RP, eles observaram que na floresta, onde houve maior umidade do solo, também houve menores valores de RP.

Alterações na qualidade da MO e suas de suas taxas de decomposição também são observadas por Scrhoth et al. (2002) em ambientes naturais, SSPs e cultivo agrícola convencional, onde, de modo geral, a serrapilheira de árvores tendem a elevar os teores de MO do solo. Rab (2004) relataram que a matéria orgânica, a macroporosidade e a densidade de áreas perturbadas eram de 31% a 41% menor, 44% a 60% mais baixo, e 22% a 68% maior, respectivamente, em comparação com áreas sob floresta.

Paudel et al., (2011) avaliaram a estabilidade de agregados do solo dispersos em água em diferentes usos do solo. Eles observaram que pastagens em monocultivo apresentam menor estabilidade de agregados, o que evidencia desestruturação e erosão do solo em relação a SSPs, que apresentam maior capacidade de retenção de água, fato observado neste estudo (Tabela 6, Figura 6).

Foi observado que na área Sol Pleno houve maiores valores de RP e menores teores de nutrientes (Figuras 5 e 6). Isto pode estar relacionado ao fato de que sob maior densidade do solo as raízes das plantas não exploração toda a área de solo disponível, permitindo que N e cátions sejam lixiviados e ocorra acidificação do solo (SCRHOTH et al., 2002).

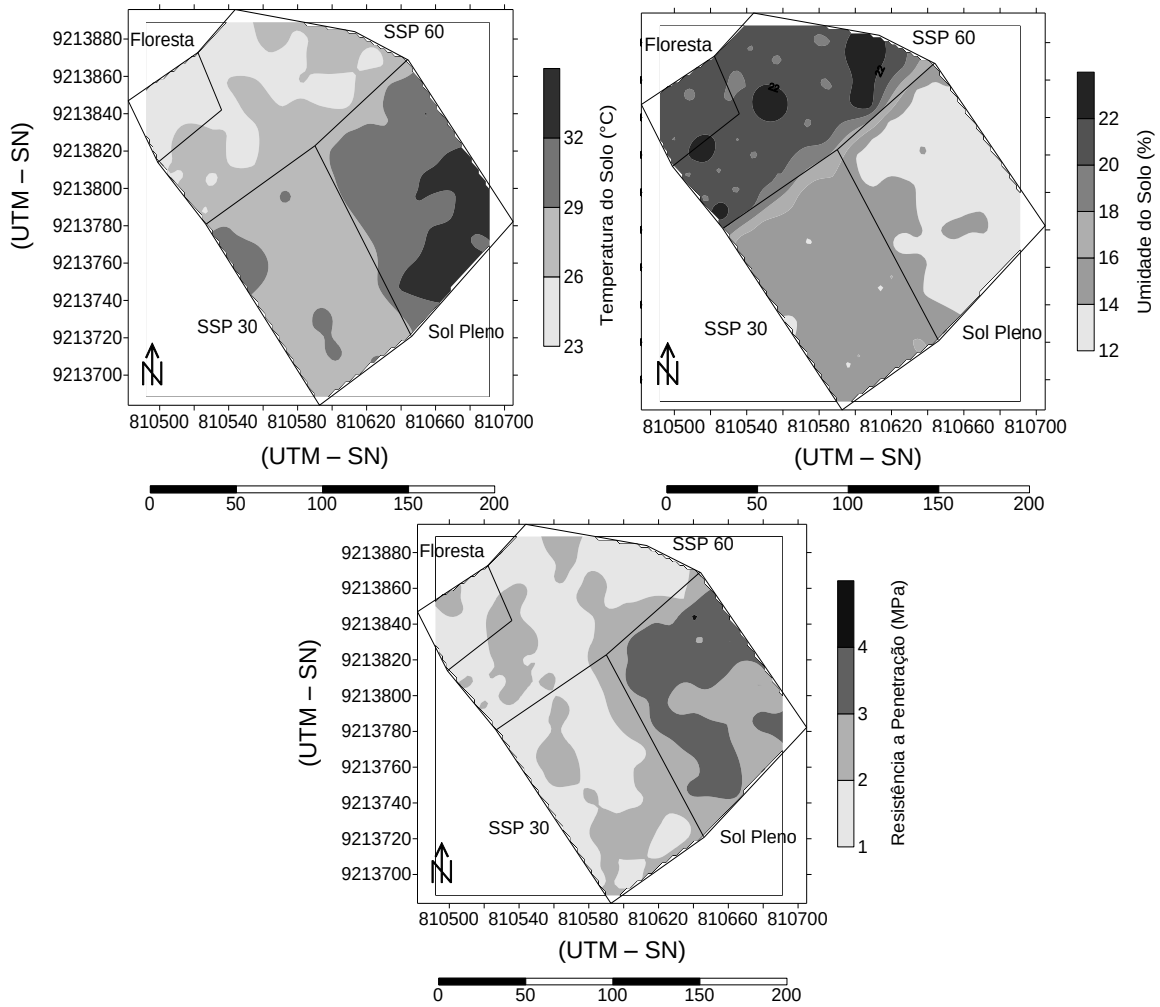


Figura 6. Mapas de contorno da distribuição espacial dos atributos temperatura, umidade e resistência a penetração do solo, que apresentam significância na formação de componentes principais, em função do tipo de uso.

2.3.2.2 Agrupamento Fuzzy

Os dados das variáveis que compuseram os componentes principais (autovetores) foram submetidos a análise de agrupamentos não hierárquicos pela lógica fuzzy *k*-médias para definição de classes de sistemas em função do uso (SILVA NETO, 2012; CERRI et al., 2004). Cada ponto que apresentava os valores das 13 características da ACP passou a ser representado por um único valor

representativo artificial, oriundo da fusão das médias dos autovalores da ACP. Isto permitiu definir classes (CERRI et al., 2004) que, em função dos 13 atributos originais, apresentaram-se diferentes, caracterizando zonas distintas de fertilidade do solo. O número adequado de classes foi determinado pelo índice de desempenho fuzzy (FPI: Fuzziness Performance Index) e pela partição de entropia modificada (MPE: Modified Partition Entroppy) (Tabela 12) e serviram para reduzir a confusão da sobreposição de áreas, delimitando os sistemas distintos. De modo geral isso incorreu em uma redução da variabilidade permitindo sintetizar toda variabilidade em intervalos de variância, assim o número de classes foi reduzido em zonas mais homogêneas, onde os valores destas classes se aproximam da média e da mediana (CERRI et al. 2004).

Tabela 12. Valores dos índices FPI e MPE em função dos números de classes geradas pela lógica fuzzy k-médias para as áreas de SSPs com 30 e 60% de sombreamento e área Sol Pleno.

Classes	2	3	4	5
FPI	**0,1420**	0,3157	0,3903	0,4866
MPE	**0,1904**	0,3428	0,3820	0,4484

FPI: Fuzziness Performance Index. MPE: Modified Partition Entroppy

O número de classes ideais gerados pela lógica fuzzy utilizado em função do menor erro foi de duas (Tabela 12). Após definido o número ideal de classes realizou-se a interpolação das médias multivariadas Fuzzy em função da participação de cada individuo *i* em uma das classes *k*, usando-se o método de interpolação de vizinhos naturais (SILVA NETO, 2012).

Por este algoritmo pode-se confirmar que as condições de fertilidade do solo nas áreas SSP 60 e na floresta nativa foram semelhantes (Figura 7). Logo o raleamento até 60% de sombra não modificou a condição de restauração natural dos atributos do solo. Isto indica que este sistema pode ser utilizado para recompor áreas de pastagem em processo de degradação. Silva Neto (2012) também observou que o raleamento de floresta secundária no norte do Tocantins não alterou os atributos do solo em relação a floresta quando o raleamento foi de moderado a leve (relamento até 80% de sombreamento). Assim, é possível construir SSPs para manter as condições fertilidade e sustentabilidade do solo sob pastagem semelhantes a da floresta (SCRHOTH et al., 2002; ALFAIA et al., 2004). Neste sentido Blinn et al. (2006)

comparou, por meio de imagens de satélites, a semelhança entre SSP de floresta secundária, SSP misto (fruta/madeira), SSP madereiro e floresta nativa. Eles observaram que a floresta secundária foi a forma de uso da terra que mais se aproximou da condição de floresta natural e é tido como uma forma de reabilitação do solo.

As condições do solo no SSP 30 foram semelhantes às condições verificadas no sistema a Sol Pleno (monocultivo), embora existissem algumas zonas no SSP 30 semelhantes a floresta e o SSP 60 (Figura 7). Isto evidencia que o raleamento intenso tende a reverter o processo de restauração natural, fazendo com que o sistema se comporte como um sistema de monocultivo (FUJISAKA et al., 1998).

Diante destes resultados fica evidente que SSPs com até 60 % de raleamento podem ser autossustentáveis nos primeiros anos de implantação, enquanto que sistemas mais raleados (SSP 30) necessitam de um aporte de fertilizantes para repor os nutrientes exportados (ALFAIA et al., 2004). Isto pode ser resultado das maiores taxas de lotação animal, exportação e lixiviação (ALFAIA et al., 2004) dos elementos no sistema mais intensivo (SSP 30). Já o SSP 60, mesmo possuindo entrada de nutrientes via serrapilheira semelhante ao SSP 30 (dados não apresentados), manteve maior nível de fertilidade do solo por apresentar menor extração de nutrientes em virtude do menor uso.

Por final, SSPs com nível de raleamento para atingir valores entre 30 e 60 % de sombreamento torna-se os modelos mais interessantes do ponto de vista da produção forrageira e da conservação da fertilidade do solo, devendo ser considerada o manejo de restituição periódica dos elementos exportados. Assim, é possível que as adubação nestes sistemas sejam apenas reduzidas.

Avaliando-se a distinção das zonas e sua relação com os atributos mensurados (Figura 7) observa-se que a diferenciação foi promovida principalmente pelos valores de MO, SB, CTC e umidade do solo, que foram superiores nas áreas SSP 60 e floresta. O SSP 30 apresentou algumas zonas com condições do solo semelhantes a floresta, mas em geral o raleamento intenso, para 30% de sombreamento, reduziu a fertilidade do solo ao longo de um ano de uso. Desta forma infere-se que níveis de raleamento da floresta secundária para promover nível de sombreamento de 30% ou menos pode promover alterações das condições fisicoquímicas e biológicas do solo,

tornando-o menos fértil, mais compactado e com menor capacidade de retenção de água.

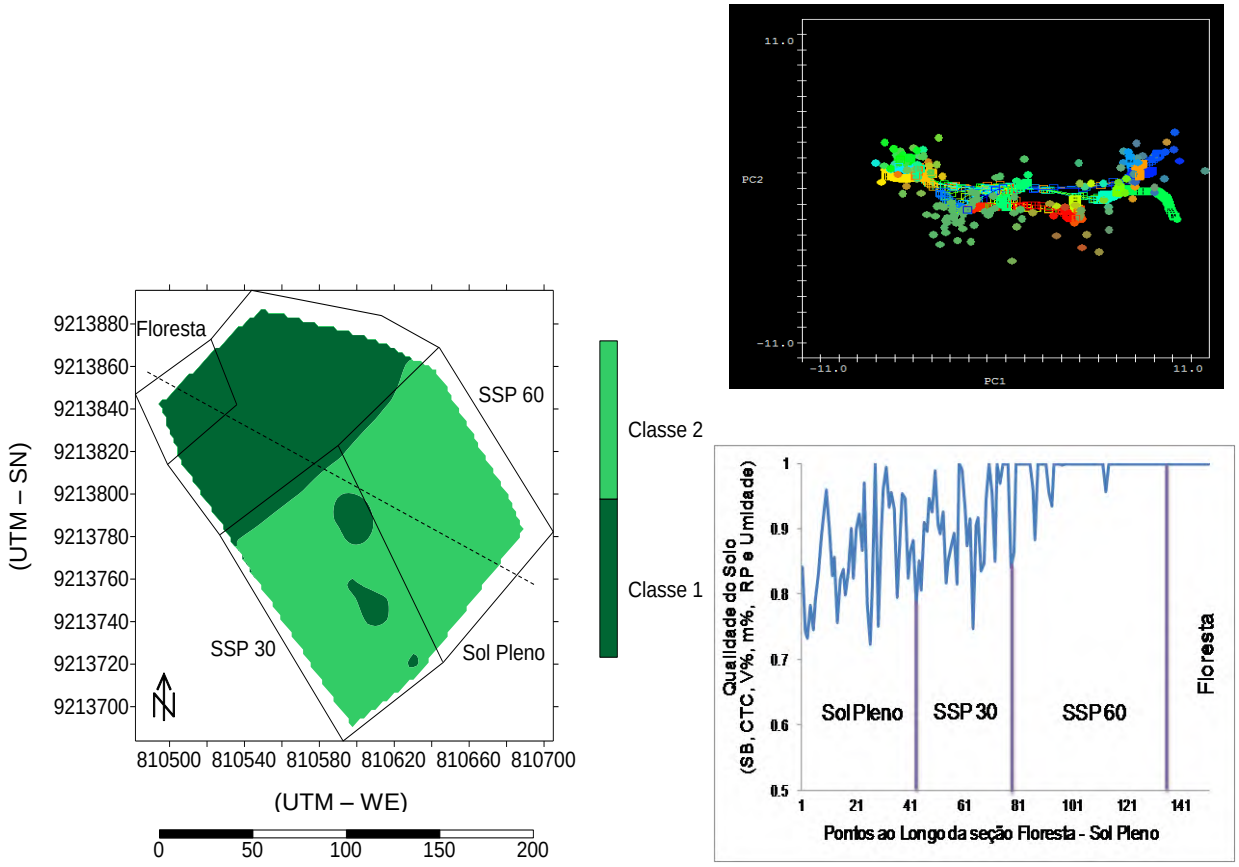


Figura 7. Mapa de contorno de classes de manejo do solo em função do tipo de uso. Áreas sob SSP 60 e floresta nativa compõem uma única classe. SSP 30 e Sol Pleno compõem outra classe, distinta da primeira. Classes determinadas em função dos atributos que compuseram as componentes principais. O índice de qualidade do solo tem a floresta nativa como padrão (100% = 1). Menores valores de SB, CTC, V% e umidade e maiores valores de RP reduzem o índice.

2.3 CONCLUSÕES

O abandono de áreas sob pastagem e a posterior revegetação natural com palmeiras de babaçu promove a restauração das condições de fertilidade do solo ao longo do tempo, tornando-o semelhante a floresta. Se o estabelecimento de um sistema silvipastoril com espécies nativas reduz, mantém ou aumenta as condições de fertilidade do solo em relação a floresta natural depende do manejo da intensidade de raleamento e condução de tal sistema.

A implantação de sistemas silvipastoris com 60% de sombreamento (baixa intensidade de raleamento) permite a manutenção das condições químicas, físicas e biológicas do solo sob floresta secundária semelhante as da floresta nativa. Já sistemas silvipastoris com 30% de sombreamento (maior intensidade de raleamento) modificam a condição de fertilidade recuperada durante o pousio, reduzindo a fertilidade e alterando negativamente as condições físicas e biológicas do solo, tornado-o semelhante ao sistema de monocultivo.

Os principais atributos do solo que são modificados quanto sua cobertura natural é substituída por pastagem cultivada, quando a pastagem é abandonada e a área sofre revegetação natural e quando esta é raleada para compor sistemas agroflorestais são: a matéria orgânica do solo; a soma de bases; a capacidade de troca de cátions; a temperatura e a umidade do solo e a resistência a penetração. Logo estas características podem ser consideradas como parâmetros para quantificar a qualidade do solo. De modo geral os atributos químicos são mais afetados, a curto prazo, pelo tipo de uso do que os atributos físicos.

2.4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALFAIA, S.S.; RIBEIRO, G.A.; NOBRE, A.D.; LUIZÃO, R.C.; LUIZÃO, F.J. Evaluation of soil fertility in smallholder agroforestry systems and pastures in western Amazonia. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.102, n.3, p. 409-414, 2004.

ALVAREZ, V.H.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F. CANTARUTTI, R.B. LOPES, A.S. Interpretação dos resultados de análise de solos. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ, V.H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5º Aproximação.** Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais – CFSEMG. Viçosa – MG, 1999, p. 25.

ANDRADE, C.M.S.; VALENTIM, J.F. Adaptação, Produtividade e Persistência de *Arachis pintoi* Submetido a Diferentes Níveis de Sombreamento. **Revista Brasileira de. Zootecnia**, v.28, n.3, p.439-445, 1999.

ARAÚJO, R.; GOEDERT, W.J.; LACERDA, M.P.C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. **Revista Beasileira de Ciência do Solo**, v.31, n.5, p.1099-1108, 2007.

ASSIS JÚNIOR, S.L.; ZANUNCIO, J.C.; KASUYA, M.C.M.; COUTO, L.; MELIDO, R.C.N. Atividade microbiana do solo em sistemas agroflorestais, monoculturas, mata natural e área desmatada. **Revista Árvore**, v.27, n.1, p.35-41, 2003.

ASSIS, R, L.; LAZARINI, G. D.; LANCAS, K. P.; CARGNELUTTI FILHO, A. Avaliação da resistência do solo à penetração em diferentes solos com a variação do teor de água. **Engenharia Agrícola**, v.29, n.4, p.558-568, 2009.

BHAGWAT, S.A.; WILLIS, K.J.; BIRKS, H.J.B.; WHITTAKER, R.J. Agroforestry: a refuge for tropical biodiversity? **Trends in Ecology and Evolution**, v.23, n.5, p. 261-267, 2008.

BIRD. P.R.; KELLAS, J.D.; JACKSON, T.T.; KEARNEY, G.A. Pinus radiata and sheep production in silvopastoral systems at Carngham, Victoria, Australia. **Agroforest System**, v.78, n.3, p.203–216, 2010.

BLAINSKI, E.; TORMENA, C. A.; FIDALSKI, J.; GUIMARÃES, R. M. L. Quantificação da degradação física do solo por meio da curva de resistência do solo à penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n.3, p. 975-983, 2008.

BLINN, C.E.; BROWDER, J.O.; PEDLOWSKI, M.O.; WYNNE, R.H. Rebuilding the Brazilian rainforest: Agroforestry strategies for secondary forest succession. **Applied Geography,** v.43, n.3, p.171-181, 2013.

BRAZ, S.P.; URQUIAGA, S.; ALVES, B.J.R.; BODDEY, R.M. **Degradação de pastagens, matéria orgânica do solo e a recuperação do potencial produtivo**

em sistemas de baixo *input* tecnológico na região dos Cerrados. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2004, 8p. (Circular Técnica, n. 9).

CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R.F.; KONOPKA, A.E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa Soils. **Soil Science Society of America** Journal, v. 58, n.5, p. 1501-1511, 1994.

CARDENAS, S.S.; ORTEGA, Y.G. Accumulation and decomposition of litter in pasture of Panicum maximum and in silvopastoral system associated with *Leucaena leucocephala*. **Zootecnia Tropical**. v.26, n.3, p. 269-273, 2008.

CARDOSO, P.C. **Avaliação da erosão pela mudança na superfície do solo em sistemas florestais**. 2003. 106 p. Dissertação (Mestrado em Solo e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG.

CAVALCANTE, E. G. S.; ALVES, M. C.; SOUZA, Z. M.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** v. 31, n. 6, p. 1329-1339, 2007.

CERRI , C.E.P.; BERNOUX, M.; CHAPLOT, V.; VOLKOFF, B.; VICTORIA, R.L.; MELILLO, J.M.; PAUSTIAN, K.; CERRI, C.C. Assessment of soil property spatial variation in an Amazon pasture: basis for selecting an agronomic experimental area. **Geoderma**, v.123, n.2, p.51-68, 2004.

CHEN, Y.; LEE, P.; LEE, G.; MARIKO, S.; OIKAWA, T. Simulating root responses to grazing of a Mongolian grassland ecosystem. **Plant Ecology***.* v.183, n.2, p.265-275, 2006.

CORÁ, J.E.; ARAUJO, A.V.; PEREIRA, G.T.; BERALDO, J.M.G. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 6, p. 1013-1021, 2004.

CORÁ, J.E.; BERALDO, J.M.G. Variabilidade espacial de atributos do solo antes e após calagem e fosfatagem em doses variadas na cultura de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, v. 26, n. 2, p. 374-387, 2006.

CORRÊA, A.N.; TAVARES, M.H.F.; URIBE-OPAZO, M.A. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo e seus efeitos sobre a produtividade do trigo. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 30, n.1, p. 81-94, 2009.

CRESPO, G. Importance of the silvopastoral systems to keep and restore soil fertility in tropical regions. **Cuban Journal Of Agricultural Science.** v. 42, n.4, p. 321-327, 2008.

DESJARDINS, T., ANDREUX, F., VOLKOFF, B., CERRI, C. Organic carbon and ^{13}C contents in soils and soils size-fractions, and their changes due to

deforestation and pasture installation in eastern Amazonia. **Geoderma**, v.61, n.2, p.103–118, 1994.

DOBERMANN, A.; OBERTHIIR, T. Fuzzy mapping of soil fertility a case study on EKWUE, E.J. & STONE, R.J. Organic matter effects on strength properties of compacted agricultural soils. **Amazon Society Agronomy Engenhe**, v.38, n.3, p.357-365, 1995.

FENG, Q.; LIU, Y.; MIKAMI, M. Geostatistical analysis of soil moisture variability in grassland. **Journalof Arid Environments,** v.58, n.3, p. 357-372, 2004.

FRANKE, I.L.; FURTADO, S.C. **Sistemas silvipastoris: fundamentos e aplicabilidade**. Rio Branco. Embrapa Acre. Circular 74, 2001, p. 7-30

FREIXO, A. A.; MACHADO, P. L. O. A.; GUIMARÃES, C. M.; SILVA, C. A.; FADIGAS, F. S. Estoques de carbono e nitrogênio e distribuição de frações orgânicas de latossolo do cerrado sob diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, n.2, p.425-434, 2002.

FUJISAKAA, S.; CASTILLAB, C.; ESCOBARA, G.; RODRIGUESC, V.; VENEKLAASA, E.J.; THOMASA, J.; FISHER, M. The effects of forest conversion on annual crops and pastures: Estimates of carbon emissions and plant species loss in a Brazilian Amazon colony. **Agriculture, Ecosystems and Environment,** v.69, n.1, p.17-26, 1998.

GEISSEN, V.; GUZMAN, G.M. Fertility of tropical soils under different land use irrigated riceland in the Philippines. **Geoderma**, v.77, n.2, p.317-339, 1997.

GOLDEN SOFTWARE. **Surfer for Windows version 8.0**. Colorado: Golden, 2002.

GRISI, B. M. Método químico de medição da respiração edáfica: alguns aspectos técnicos. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v.30, n.1, p.82-88, 1978.

GUERRA, A.R. **Atibutos de solo sob Coberturas vegetais em sistema silvipastoril em Lavras – MG**. 2010. 22 p. (Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Lavras. Lavras – MG.

HOWLETT, D.S.; MORENO, G.; LOSADA, M.R.M.; RAMACHANDRAN, P.K.; NAIRD, V.D. Soil carbon storage as influenced by tree cover in the Dehesa cork oak silvopasture of central-western Spain. **Journal of Environmental Monitoring**. v. 13, n.1, p.1897–1904, 2011.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. **Climate change 2001**: The scientific basis. Cambridge, Cambridge University Press, 881p. 2001.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geoestatistics.** New York: Oxford University, 1989. 561 p.

KURZ-BESSON, D.C.; OTIENO, R. LOBO DE VALE, R. SIEGWOLF, M. SCHMIDT, A. HERD, C. NOGUEIRA, T. S. DAVID, J. S. DAVID, J. TENHUNEN, J. SANTOS-PEREIRA AND M. CHANVES. Hydraulic lift in cork oak trees in a savanna-type Mediterranean ecosystem and its contribution to the local water balance. **Plant Soil,** v.282, n.2, p. 361-378, 2006.

LANDIM, P.M.B. Sobre Geoestatística e mapas. **Terra e Didática**, v.2, p.19-33, 2006.

LANNA, G.R.; LANA, A.M.Q.; MAURÍCIO, R.M.; LANA, R.M.Q.; MACHADOR.M.; BORGES, I.; QUINZEIRO NETO,T. Influence of trees on soil nutrient pools in a silvopastoral system in the Brazilian Savannah. **Plant Soil.** v.329, n.2, p. 185–193, 2010.

LIMA LEITE, R.L. **Raleamento de floresta consorciada com gramínea forrageira em área de transição Cerrado-Amazônia no norte do Tocantins**. 2012. p. 47. Tese (Doutorado em Ciência Animal Tropical) – Universidade Federal do Tocantins, Araguaína – TO.

LIMA, I.M.A.; ARAÚJO, M.C.; BARBOSA, R.S. Avaliação das propriedades físicas do solo em sistemas silvipastoris, região centro-norte, estado do Piauí. **Agropecuária científica no semiárido**, v.9, n.1, p.117-124, 2013.

MacDICKEN, K.G.; VERGARA, N.T. Introduction to agroforestry. In: MacDICKEN, K.G.; VERGARA N.T. eds. **Agroforestry: classification and management**. New York: John Wiley Sons; 1990.

MARDIA, K. V.; KENT, J. T.; BIBBY, J. M. **Multivariate analysis**. London: Academic, 1979. 521 p.

MATHERON, G. Principles of geostatistics. **Economic Geology**, v. 58, n. 8, p. 1246-1266. 1963.

MCGRATH, D.A.; DURYEA, M.L.; CROPPER, W.P. Soil phosphorus availability and fine root proliferation in Amazonian agroforest 6 years following forest conversion. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. v.83, n.3 p.271–284, 2001.

MINASNY, B.; McBRATNEY, A. B. **FuzMe version 3.0**. Australian Center of Precision Agriculture, The University of Sidney. 2002.

MORENO MARCOS, J.J.G.; OBRADOR, E.; GARCIA, E.; CUBERA, M. J.; MONTERO, F.; DUPRAZ, P.C. Driving competitive and facilitative interactions in oak dehesas through management practices. **Agroforest System**, v.70, n.1 p. 25-40, 2007.

MORITA, T.; ASSUMPÇÃO, R. M. V. **Manual de soluções, reagentes e solventes**. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 1993. 629p.
NAIR, P. K. Agroflorestal systems and environmental quality: introduction. **Journal of Environmental Quality.** v.40, n.3, p.784-790, 2011.

NAIR, V.D.; HAILES, S.G.; MICHEL, G.A.; NAIR, P.K.R. Environmental quality improvement of agricultural lands through silvopasture in southeastern United States. **Scientia Agricola**, v.64, n.5, p.513-519, 2007.

NEVES NETO, D. N. ; SANTOS, A.C. ; SANTOS, P. M. ; MELO, J. C. ; SANTOS, J. S. . Análise espacial de atributos do solo e cobertura vegetal em diferentes condições de pastagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, p. 995-1004, 2013.

OADES, J. M.; WATERS, A.G.; AUST. J. Aggregate hierarchy in soils. **Soil Research**. v.*29,* n.6, p.*815*-828, *1991.*

PACIULLO, D.S.C.; CAMPOS, N.R.; GOMIDE, C.A.M.; CASTRO, C.R.T.; TAVELA, R.C.; ROSSIELLO, R.O.P. Crescimento de capim-braquiária influenciado pelo grau de sombreamento e pela estação do ano. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.43, n.7, p.917-923, 2008.

PANG, X,Y.; BAO, W.K.; ZHANG, Y.M. Evaluation of Soil Fertility Under Different *Cupressus chengiana* Forests Using Multivariate Approach. **Pedosphere**, v.16, n.5, p.602-615, 2006.

PAUDELA, B.R.; UDAWATTA, R.P.; ANDERSON, S.H. Agroforestry and grass buffer effects on soil quality parameters for grazed pasture and row-crop systems. **Applied Soil Ecology**, v.48, n.2, p.125-132, 2011.

PERIN, R.; TONATO, F.; SOUSA, J.N.; MARTINS, G.C. **Alterações na densidade do solo em um sistema agrossilvipastoril na amazônia central**. 2011. Embrapa Amazônia Ocidental - Manaus/AM. Disponível em: http://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/about/submissions#authorGuidelines

PIERO, I.O.R.; DIAS JÚNIOR, M.S.; SILVA, R.B. Resistência do solo à penetração e ao cisalhamento em diversos usos do solo em áreas de preservação permanente. **Bioscience Journal**, v. 28, n.1, p.185-195, 2012.

RAB, M. A. Recovery of soil physical properties from compaction and soil profile disturbance caused by logging of native forest in Victorian Central Highlands, Australia. **Forest Ecology and Management**, v.3 n.191, p.329-340, 2004.

RADERSMA S.; CHIN, K.O. Spatial distribution of root length density and soil water of linear agroforestry systems in sub-humid Kenya: implications for agroforestry models. **Forest Ecology and Management**, v.188, n.3 p.77-89, 2004.

RECCO, R.D.; AMARAL, E.F.; PINTO, E.M.; MELO, A.W.F.; Avaliação do nível de carbono em solos tropicais submetidos a plantio de sistemas agroflorestais em diferentes idades na Amazônia Ocidental. In: III Congresso Brasileiro de sistemas Agroflorestais. **Anais**...EMBRAPA, Manaus, Brasil, p. 55–57, 2000.

RIBON, A.A.; TAVARES FILHO, J. Estimativa da resistência mecânica à penetração de um latossolo vermelho sob cultura perene no norte do estado do Paraná**. Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.1, p.1817-1825, 2008.

ROBERTSON, G.P. GS+: **Geostatistics for the environmental sciences – GS+ User's guide**. Plainwell, Gamma Design Soffware, 2008. 152p.

ROQUE, C. G.; CENTURION, J. F.; ALENCAR, G. V.; BEUTLER, A. N.; PEREIRA, G. T.; ANDRIOLI, I. Comparação de dois penetrômetros na avaliação da resistência à penetração de um Latossolo Vermelho sob diferentes usos. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.25, n.2, p.53-57, 2003

SAHA, S. K.; NAIR, P. K. R.; NAIR, V.D.; KUMAR, B.M. Carbon storage in relation to soil size-fractions under tropical tree-based land-use systems. **Plant Soil**. v.328, n. 328, p. 433–446, 2010.

SCHROTH, G.; D'ANGELO, S.A.; TEIXEIRA, W.G.; HAAG, D.; LIEBEREI, R. Conversion of secondary forest into agroforestry and monoculture plantations in Amazonia: consequences for biomass, litter and soil carbon stocks after 7 years. **Forest Ecology and Management.** v.163, n.3, p.131-150, 2002.

SEMMEL, H.; HORN, R.; HELL, U.; DEXTER, A.R.; SCHULZE, E.D. The dynamics of soil aggregate formation and the effect on soil physical properties. **Soil Technology**, v.3, n.2, p.113-129, 1990.

SILVA NETO, S.P. **Análise espacial de características químicas do solo, serapilheira e pasto em sistemas de integração com floresta secundária.** 2012. p. 13. Tese (Doutorado em Ciência Animal Tropical) – Universidade Federal do Tocantins, Araguaína – TO.

SILVA NETO, S.P.; SANTOS, A.C.; LIMA LEITE, R.L.; DIM, V.P.; NEVES NETO, D.N.; DA CRUZ, R.S. Dependência espacial em levantamentos do estoque de carbono em áreas de pastagens de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu**. Acta Amazonica.** v.42, n.4, p.547 - 556, 2012.

SILVA, M.S.C.; SILVA, E.M.R.; PEREIRA, M.G.; SILVA, C.F. Estoque de Serapilheira e Atividade Microbiana em Solo sob Sistemas Agroflorestais. **Floresta e Ambiente**, v.19, n.4, p.431-441, 2012.

SILVEIRA, D.C.; MELO FILHO, J.F.; SACRAMENTO, J.A.A.S.; SILVEIRA, E.C.P. Relação umidade versus resistência à penetração para um Argissolo Amarelo distrocoeso no recôncavo da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n.2, p. 659-667, 2010.

SILVEIRA, N. S.; PEREIRA, M. G.; POLIDORO, J. C.; TAVARES, S. R. L.; MELLO, R. B. Aporte de nutrientes e biomassa via serrapilheira em sistemas agroflorestais em Paraty, RJ. **Ciência Florestal**,v. 17, n. 2, p. 129- 136, 2007.

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

SOUTO, P. C.; SOUTO, J. S; SANTOS, R. V.; ARAÚJO, G. T.; MAIA, E. L. Atividade microbiana em função da disposição de estercos no solo. **Revista Científica Rural**, v. 7, n. 2, p.104-115, 2002.

SOUZA, E.D.; COSTA, S.E.V.G.A.; ANGHINONI, I.; LIMA, C.V.S.; CARVALHO, P.C.F.; MARTINS, A.P. Biomassa microbiana do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** v.34, n.2, p.79-88, 2010.

SOUZA, Z.M.; ALVES, M.C. Propriedades físicas e teor de matéria orgânica em um Latossolo Vermelho de cerrado sob diferentes usos e manejos**. Acta Scientiarum Agronomy**, v. 25, n. 1, p. 27-34, 2003.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.

TORNQUIST, C.A.; HONS, F.M.; FEAGLEY, S.E.; HAGGAR, J. Agroforestry system effects on soil characteristics of the Sarapiquo region of Costa Rica. **Agriculture Ecosystems and Environment**, v.73, n.1, p. 19-28, 1999.

Van NOORDWIJK, M.; CERRI C.C.; WOOMER, P.L.; NUGROBO, K.; BEMOUX, M. Soil carbon dynamics in the humid tropical forest zone. **Geodema**, v. 79, n.4, p. 187 – 225, 1997.

VERCHOT, L.V.; BRIENZA JUNIOR, S.; OLIVEIRA, V.C.; MUTEGI, J.K.; CATTANIO, J.H.; DAVIDSON, E.A. Fluxes of CH4, CO2, NO, and N2O in an improved fallow agroforestry system in eastern Amazonia. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.126, n.2, p. 113-121, 2008.

VICINI, L. **Análise multivariada da teoria à prática**. Santa Maria - RS: UFSM, Maria, 2005, 95 p. (CCNE).

VIEIRA , S.A. **Efeitos das plantações florestais (*Eucaliptus* sp.) sob a dinâmica de nutrientes em região do cerrado do estado de São Paulo**. 1998, 73 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestias) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba – SP.

VIEIRA, S. R. 2000. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo.** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p. 1-53.

WALL, A.J. **The effect of poplar stand density on hill country pastures**. PhD thesis. Massey University, Palmerston North, New Zealand. 2006.

WILSON, J. R. Shade-stimulated growth and nitrogen uptake by pasture grasses in a subtropical environment. **Australian Journal of Agricultural Research**, Melbourne, v.47, n.7, p.1075-1093, 1996.

ZUCCA, C.; CANU, A.; PREVITALI, F. Soil degradation by land use change in an agropastoral area in Sardinia (Italy). **Catena.** v. 83, n.1, p. 46–54, 2010.

3.0 ABORDAGEM MULTIVARIADA E ESPACIAL DO EFEITO DO RALEAMENTO DE FLORESTA SECUNDÁRIA PARA IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS SILVIPASTORIS ALTERNATIVOS SOB A CICLAGEM DE NUTRIENTES

RESUMO

Sistemas silvipastoris podem ser implantados em florestas secundárias, sob áreas em desuso, mantendo-se as espécies arbóreas de maior importância botânica e econômica. Já a ciclagem de nutrientes pode ser afetada pelo raleamento da floresta secundária para adequação do ambiente luminoso do sub-bosque. Sistemas silvipastoris com palmeiras de babaçu (*Attalea speciosa*, Mart) e capim Mombaça (*Panicum maximum* Jacq.) são pouco conhecidos e o efeito do raleamento de florestas secundárias de babaçu à níveis de sombreamento adequado as gramíneas, sob a produção de serrapilheira, sua decomposição e a liberação de nutrientes é ignorado. O objetivo com este estudo foi diagnósticar os mecanismos de acúmulo, decomposição e liberação de nutrientes da serrapilheira de sistemas silvipastoris em níveis de sombreamento moderado (30% de sombra) e alto (60% de sombra) em relação a floresta nativa. Ainda, objetivou-se indentificar a contribuição da liteira da pastagem para a ciclagem total de nutrientes. Por último, o estudo avaliou quais as principais caracteristicas da ciclagem de nutrientes e quais os principais elementos são afetados pelo raleamento da floresta para compor sistemas silvipastoris. Desta forma, conduziu-se estudo com o raleamento de floresta secundária de babaçu aos níveis de 30 e 60% (moderado e alto) de sombreamento, de modo a compara-se a ciclagem de nutrientes destas áreas coma floresta nativa e com um pasto em monocultivo. Coletas de dados nestes quatro ambientes, referentes a deposição de serrapilheira e de liteira do pasto, acúmulos de nutrientes, decomposição da serrapilheira e da liteira e liberação de nutrientes pelos materiais depositados foram avaliados por métodos geoestatísticos e multivariados ao longo de sete períodos. Os resultados evidenciaram que o raleamento da floreta provoca redução na deposição de serrapilheira, mas não na taxa de decomposição, que possuiu a mesma magnitude entre os sistemas e diminui exponencialmente ao longo do tempo. A seleção para permanência das palmeiras de babaçu, e a retirada das demais espécies, causa diminuição da ciclagem dos nutrientes. A presença da gramínea no sub-bosque dos sistemas integrados promove aumento da taxa total de ciclagem de nutrientes e o sistema com 30% de sombreamento possui maior taxa de retorno de nutrientes que a floresta e o pasto sob monocultivo. Embora o raleamento altere as taxas de ciclagem de nutrientes, nos sistemas integrados estes eventos ocorrem de forma mais parecidas com a floresta do que com o sistema sob monocultivo, logo, os ambientes avaliados podem ser considerados apenas como zonas de manejo com e sem o compoennte arbóreo. Desta forma, quanto maior a intensidade do realeamento mais a ciclagem será parecida com aquela que ocorre no pasto sob monocultivo. A presença da gramínea nos ambientes integrados proporciona aumentos da ciclagem de N e Mg, enquanto o raleamento promoveu redução da ciclagem de Ca, e estes foram os elementos mais influenciados pelos sistemas integrados e pelo releamento. O K apresenta a maior taxa de liberação e retorno ao solo.

Quanto a liberação de nutrientes dos materiais depositados, pôde-se verificar que a literira do pasto possui maior capacidade de ciclagem dos nutrientes, ja que possui maior teor de elementos e maior taxa de decomposição que a serrapilheira. Ao longo do tempo a maior ciclagem ocorre nas épocas relacionadas aos períodos de transição chuvas/seca, onde há maior deposição de serrapilheira sem comprometer a taxa de decomposição.

Palavras chave: Ciclagem de nutrientes, sistemas agroflorestais, manejo de pastagens, decomposição de serrapilheira

ABSTRACT

Silvopastoral systems can be deployed in under secondary forest areas into disuse within rural properties, keeping the tree species of greatest economic importance and botany. Have nutrient cycling may be affected by secondary forest thinning to adjust the luminous environment of the understorey. Silvopastoral systems with babassu palm (Attalea speciosa Mart) and Mombasa grass (Panicum maximum Jacq.) Are poorly known and the effect of thinning of secondary forests of babassu, to levels adequate shade grasses, under the litterfall, its decomposition and nutrient release is ignored. Still, the contribution of litter pasture to total cycled nutrients is unknown. The aim was to diagnose the mechanisms of accumulation, decomposition and nutrient release from litter of silvopastoral systems in moderate levels of shading (30% shade) and high (60% shade) relative to native forest. Still, it was aimed to identification of their contribution to the pasture litter nutrient cycling in integrated systems and compare cycling exist in grassland under monoculture. Finally, the study evaluated what are the main characteristics of nutrient cycling and the principal elements are affected by thinning the forest to compose silvopastoral systems. Thus study was conducted with secondary forest thinning babassu levels of 30 and 60% (moderate and high) shading, so we compare the nutrient cycling of these areas with native forest and eat a pasture monoculture . Data collections in these four environments, concerning the deposition of litter and litter pasture, mineral accumulation and decomposition of litter and litter and nutrient release by the deposited materials were evaluated by multivariate geostatistics and over seven periods. The results showed that the thinning of floreta causes a reduction in the deposition of litter, but not in the rate of decomposition, which has owned the same magnitude between systems and decreases exponentially over time. Selection for persistence of the babassu palm, and the withdrawal of other species, causes a decrease in nutrient cycling. The presence of grass in the understory of integrated systems promotes increased overall rate of nutrient cycling and the system with 30% shade has a higher rate of return of nutrients to the forest and pasture under monoculture. Although the sleaze change rates of nutrient cycling in integrated systems such events occur more forest-like shape than the system under monoculture eat thus evaluated environments can be considered only as management zones with and without the arboreal compoennte. Thus, the higher the intensity of realeamento more cycling will eat like that occurring in pasture under monoculture. The presence of grass in integrated environments provided increases the cycling of N and Mg, while thinning promoted reduction of Ca cycling, and these were the elements most influenced by and integrated systems for relaying. OK had the highest rate of release and return to the soil. As the release of nutrients from the deposited materials, it could be seen that the literira pasture has greater capacity for nutrient cycling, since it has a higher content of elements and greater than the rate of decomposition litter. Over time the largest cycling occurred in times related to periods of rainfall / dry transition, where there was greater deposition of litter without compromising the rate of decomposition.

Key words: Nutrient cycling, agroforestry, pasture management, decomposition of litter

3.1 INTRODUÇÃO

As propriedades pecuárias brasileiras localizadas na região de Cerrado apresentam, em sua quase totalidade, áreas abertas ociosas e/ou em algum grau de degradação, com acentuada perda da produtividade, desde longa data (REZENDE et al., 1999). Alternativas para recuperação e reintrodução destas áreas ao processo produtivo incluem atividades de reabertura, correção e adubação do solo e/ou atividades agroflorestais. Embora a fertilização possa satisfazer os interesses econômicos a curto prazo, a manutenção da biodiversidade podem ser negligenciada. Logo, o aumento da biodiversidade e da sustentabilidade de ecossistemas de pastagens pode ser conseguido por meio da introdução ou manutenção de árvores, de modo a compor sistemas agroflorestais (WEDDERBRUN e CARTER, 1999, GODINHO et al., 2014) que podem ser alternativas para reincorporação de áreas ao sistema produtivo.

Nesta modalidade de exploração, os sistemas silvipastoris (SSP) apresentam vantagens, dentre as quais, pode-se citar, a ciclagem de nutrientes via serrapilheira, que permite a incorporação de nutrientes de zonas distintas no solo, o incremento da atividade microbiana, a estruturação e estabilização de agregados do solo, a retenção de água e mitigação da erosão, dentre outros (BAHAMOND et al., 2012; BENAVIDES et al., 2009 CUNHA NETO et al., 2013; WDDERBURN e CARTER, 1999, GODINHO et al., 2014) que podem melhorar a utilização de áreas de pastagem.

Nos sistemas silvipastoris o acúmulo e a decomposição de serrapilheira são influenciados pelo sistema de manejo, mesmo assim estes eventos podem ocorrer com maior intensidade que aqueles existentes em pastagem sob monocultivo e até mesmo em floresta nativa, considerando-se a produção do bosque e do sub-bosque. Alguns estudos tem observado que a ciclagem de cátions bases (Ca, K, Mg e Na), N e P sob sistemas integrados é superior (41, 116, 64, 21, 19 e 55%, respectivamente) a sistemas de pastagem sob monocultivo (DOUGLAS et al. 2006b; WALL 2006; BAHAMOND et al., 2012)..

A dinâmica de acúmulo, decomposição e liberação de nutrientes fica condicionada ao modelo de sistema silvipastoril adotado, como nível de sombreamento, número e tipo de árvores (BENAVIDES et al., 2009), espécie

forrageira, presença de animais e fatores químicos, físicos e biológicos (MANCILLA-LEYTÓN et al., 2013) da própria serrapilheira e do ambiente. Em modelos de sistemas silvipastorís desenhados por ralemaneto aleatório e formados pelo componente arbóreo Babaçu e pela gramínea forrageira capim Mombaça, a deposição, a degradação e a liberação de nutrientes da serrapilheira produzida por estes extratos não é conhecida.

Em sistemas silvipastoris a produção da forrageira é substancialmente condicionada pelo sombreamento (ESCOBAR et al. 2007). As principais gramíneas forrageiras empregadas na pecuária brasileira se adaptam/aclimatizam a um nível de sombreamento de até 50% (OLIVEIRA et al., 2013). Isto implica na adoção de raleamento das florestas para o aumento do nível de radiação incidente no sub-bosque. Este raleamento pode reduzir a deposição e a ciclagem de nutrientes (BAHAMOND et al., 2012), sendo que o valor da redução torna-se uma função do ralamento e da aclimatação das plantas ao ambiente. Em contrapartida, a produção de liteira do pasto pode contrabalancear a redução da produção de serrapilheria da floresta e até mesmo aumentar a ciclagem total de nutrientes, denpendendo do manejo de colheita (GUEVARA-ESCOBAR et al., 2002; PARFITT et al. 1997; GIDDENS et al. 1997; GAMA-RODRIGUES et al., 2007; WEDDERBRUN e CARTER, 1999, GODINHO et al., 2014).

Informações sobre o número de palmeiras de babaçu em sistema silvipastoril, e como ocorre a deposição e decomposição de sua serrapilheira são pouco documentadas na literatura, mas é possível supor que o acúmulo seja elevado e a taxa de decomposição e liberação baixa. Este fato tem sido observado na liteira de espécies como coníferas (BENAVIDES et al., 2009; MANCILLA-LEYTÓN et al., 2013) que possui algumas características químicas (elevados teores de celulose e lignina e alta relação C:N) parecida com a liteira do babaçu (MOREIRA FILHO, 2008). Para a confirmação desta teoria é preciso quantificar a serrapilheira depositada, suas características químicas e sua taxa de decompsição (WEDDERBRUN e CARTER, 1999).

Na literatura científica, apesar de haver informações sobre as taxas de acúmulos de serrapilheira, sua decomposição e liberação de nutrientes, existem lacunas (OLIVEIRA et al., 2013) sobre quais das taxas de ciclagem de nutrientes são mais afetadas pelo raleamento da floresta para adequação à níveis de

sombreamento moderado e alto, em floretas secundárias de babaçu. Ainda, a variabilidade espacial dos aspectos de ciclagem de nutrientes em sistemas integrados e solteiros, em função do manejo, e na floresta nativa é pouco compreendida, o que requer estudos de caráter multivariado e geoestatístico.

Segundo alguns autores (REIS et al., 2009; SILVA et al., 2009), o retorno de nutrientes ao solo via serrapilheira pode ocorrer principalmente sob a copas das árvores e isso causa uma grande variabilidade espacial da ciclagem de nutrientes em função do número e do arranjo das árvores, e dificulta o conhecimento e determinação de zonas homogêneas de manejo dentro de sistemas silvipastoris. Diante disso, o uso de técnicas de agrupamento (MINASNY e McBRATNEY, 2002; MOLIN e CASTRO 2008) podem identificar zonas naturais de ciclagem distinta, que ocorrem em função de várias variáveis ambientais, e determinar áreas homogêneas de manejo.

Diante do exposto, o objetivo com este estudo foi diagnosticar os mecanismos de acúmulo, decomposição e liberação de nutrientes da serrapilheira de sistemas silvipastoris em níveis de sombreamento moderado (30% de sombra) e alto (60% de sombra) em relação a floresta nativa. Ainda, intentou-se indentificar a contribuição da liteira da pastagem para a ciclagem de nutrientes nos sistemas integrados e comparar ciclagem existem em pastagem sob monocultivo. Por último, o estudo buscou-se evidenciar quais as principais caracteristicas da ciclagem de nutrientes e quais os principais elementos são afetados pelo raleamento da floresta para compor sistemas silvipastoris.

3.2 MATERIAIS E MÉTODOS

3.2.1 Localização

As áreas sob SSP com Babaçu e capim Mombaça e monocultivo de capim Mombaça onde a ciclagem de nutrientes da serrapilheira e da gramíneas foi avaliada localizam-se na fazenda da Escola de Medicina Vetrinária e Zootecnia da Universidade Federal do Tocantins, Campus de Araguaína –TO, entre os paralelos 9213700 e 9213900 UTM-NS e meridianos 810500 e 810780 UTM-EW. De acordo com a classificação Köppen (1948) o clima da região é classificado como Aw (quente e úmido) com precipitações anuais médias de 1800 mm e temperaturas máximas de 40ºC, mínimas de 18ºC e média de 28ºC. A umidade relativa do ar média anual é de 76%. O solo da área experimental foi classificado, de acordo com o SiBCS - Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006) com Argissolo Vermelho Eutrófico.

3.2.2 Preparo das áreas

A área total (SSPs e Sol Pleno) tem histórico de abertura de mais de 25 anos, com uso de fogo e posterior implantação de pastagem cultivada, não adubada e não manejada. Parte da área foi abandonada logo após degradação do pasto, dando origem a uma floresta secundária com forte presença da palmeira Babaçu (*Attalea speciosa*, Mart) em sua composição florística. A outra parte da área foi utilizada até o ano de 2005, sendo também abandonada, dando origem a capoeira rala.

Nas áreas sob floresta de Babaçu foram estabelecidos dois sistema de integração pastagem-floresta, caracterizando dois sistemas silvipastoris (SSP) com as espécies arbóreas nativas (Babaçu) e a gramínea capim Mombaça (*Panicum maximum* Jacq.). Estas áreas foram raleadas manualmente, preservando-se as palmeiras. Uma primeira área foi raleada até obter-se 60% de sombreamento, dando origem ao SSP 60, (nível alto de sombra) considerado excessivo (PACIULLO et al., 2011; GUENNI et al.,2008). Já uma segunda área foi raleada até obter-se 30% de sombreamento, (nível moderado de sombra) (OLIVEIRA et al., 2013) dando origem ao SSP 30.

O ajuste do sombreamento de cada área foi realizado a partir da tomada da medida de iluminância (Lux) com o auxílio do luxímetro, modelo LD 200 *Instrutherm*. Estas medições foram realizadas em 50 pontos georreferenciados dentro de cada sistema em malha (grid) construída de forma equidistante e representativa (8 x 8 m), que também serviu para a coletas dos dados de deposição de serrapilheira e ciclagem de nutrientes (Figura 1a). As leituras de luz foram realizadas entre as 11:30 am e 13:00 pm, com sol a pino, sendo comparadas com leituras a sol pleno (SP). A partir destas mensurações foi calculada a porcentagem de sombreamento em cada área, sendo: 100-{(leitura no SSP/leitura SP)*100} (SILVA NETO, 2012). As leituras ocorreram durante o processo de abertura das áreas (raleamento), orientando a necessidade ou não de remoção de árvores em zonas distintas, após a abertura e limpeza completa das áreas e periodicamente (em média a cada dois meses) durante o período experimental.

A área com capoeira foi roçada e tratada com herbicida, dando origem ao sistema convencional de produção à pasto: Sol Pleno (monocultivo), onde não havia a existência de árvores. A área de floresta nativa foi mantida inalterada. As dimensões de cada área (sistema) foram: Sol Pleno: 6.500 m², SSP 30: 7.042,2, SSP 60: 7.526,2 m² e floresta nativa: 1000 m².

A disposição dos sistemas, o gride de coleta das características mensuradas e os níveis de sombreamento, bem como a variabilidade espacial da sombra, estão apresentados na Figura 1 A e B.

As condições climáticas dos sistemas (Tabela 1), ao longo do período experimental, foram monitoradas com estação meteorológica portátil modelo Tycon Tp-1080wc Pro Weatherstation – R, durante os meses de maio de 2012 e janeiro de 2013. Os dados climáticos avaliados foram: umidade relativa do ar (%), temperatura (ºC), pressão atmosférica (Hpa), velocidade do vento (m/s), rajadas de vento (m/s), vento frio (ºC) e precipitação (mm) (BAHAMOND et al., 2012).

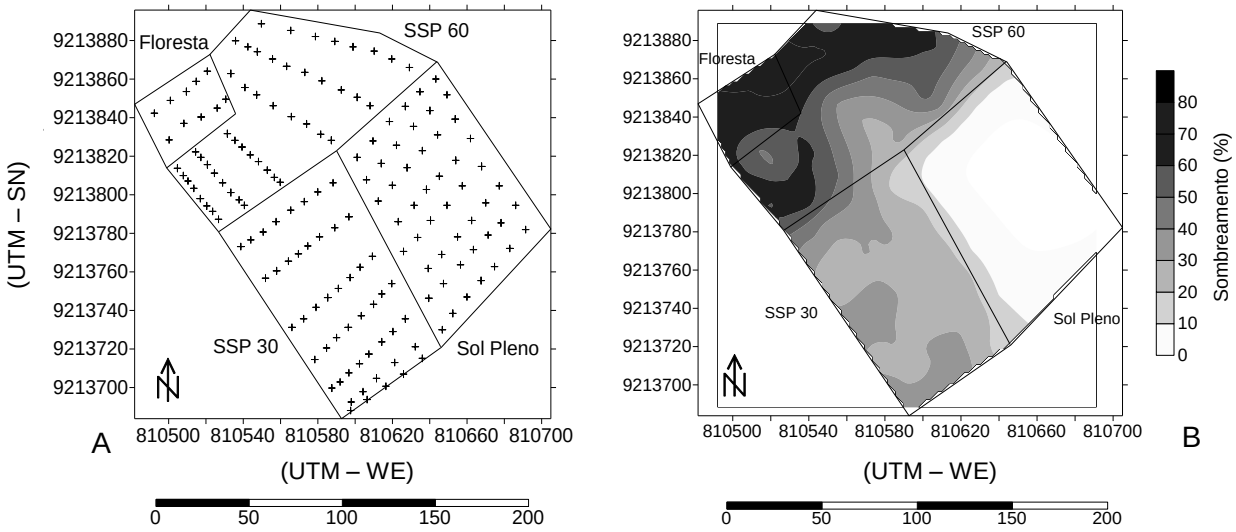


Figura 1. Mapa de contorno e disposições das áreas e da malha de coletas de dados (a) e mapa de isolinhas dos níveis de sombreamento (b) nos sistemas de integração floresta-pasto SSP 60, SSP30 e Sol Pleno.

As informações meteorológicas foram coletadas a cada cinco minutos e armazenadas no *data logger* da estação. Diariamente foram registrados 288 dados de cada características meteorológica avaliada. Estes dados compunham médias diárias. Os dados individuais diários, por sua vez, compuseram médias semanais e mensais (Tabela 1).

Tabela 1. Valores médios mensais de condições meteorológicas nas áreas de monocultivo de capim Mombaça (Sol Pleno – SP) e sistema agroflorestal com 30 e 60% de sombreamento (SSP 30 e SSP 60) ao longo de sete ciclos de avaliação.

Mês	Ano	Umidade (%)	Temperatura (ºC)	Pressão absoluta (Hpa)	Velocidade do Vento (m/s)	Rajada de vento (m/s)	Vento frio (ºC)	Chuva/mês (mm)
Mai	2012	75,74	24,42	986,97	0,67	145	22,75	101,3
Jun	2012	75,65	24,8	986,3	0,72	1,27	21,7	45,6
Set	2012	56,1	26,85	985,15	0,77	1,65	22,35	118
Out	2012	71,9	26,3	983,2	0,69	1,27	22,07	301
Nov	2012	78,06	24,62	919,5	0,53	1,49	24,19	210
Dez	2012	87,05	25,69	972,82	0,64	1,69	25,12	98
Jan	2013	92,47	25,45	985,54	0,44	1,29	25,13	222
Fev	2013	82,47	25,27	983,25	0,75	1,15	22,62	265

Fonte: Autor

3.2.3 Correção, adubação e plantio

Na área total do referido estudo, excetuando-se a floresta nativa, após realizado o diagnóstico inicial da condição química do solo (Tabela 1), foi efetuado o manejo de adubação para implantação da forrageira. Assim, foi distribuído o equivalente a uma tonelada ha^{-1} de calcário dolomítico nas áreas sob integração e sol pleno, com antecedência de 60 dias ao plantio do capim, já que as áreas integradas encontravam-se próximas a condição de potencial de carga zero (pH em H_2O = pH em CaCl), além de servir para homogeneizar a saturação por bases. Ainda foram aplicados, antes do plantio do capim, 120 kg de potássio (K - KCl), para elevar o teor de K entre 80 – 120 mg dm^{-3} (classificação agronômica: Bom) e 100 kg de fósforo (P – superfosfato simples) para elevar os valores de P entre 20 e 30 mg dm^{-3} (classificação agronômica: Muito Bom). A duabação adotada, excedente a recomendação, foi empregada devido a condição de equilíbrio das cargas do solo (potencial de carga zero: pH em H_2O = pH em CaCl)

A adubação nitrogenada foi de 100 kg ha^{-1}de nitrogênio (N – ureia), independente da área, realizada na fase de estabilização (cobertura) da gramínea conforme recomendação de Collier et al. (2008), quando as plantas se encontravam com 5 a 8 perfilhos e de 2 a 3 folhas expandidas $perfilho^{-1}$. Corretivos e fertilizantes foram distribuídos manualmente, sem incorporação.

A gramínea implantada em todos os sistemas foi o capim Mombaça. O plantio, em novembro de 2011 foi realizado de forma manual, a uma taxa de semeadura de 7 kg ha^{-1} de sementes puras viáveis. Em março de 2012, com a pastagem implantada, deu-se início as coletas de dados de acúmulo de serrapilheira, perda de forragem e decomposição destes materiais. As mensurações ocorreram de maio de 2012 a janeiro de 2013.

3.2.4 Avaliação do acúmulo e decomposição de serrapilheira e forragem

Para quantificar a produção de serrapilheira nas áreas SSP 30, SSP 60 e floresta nativa utilizou-se adaptação da metodologia de Wedderbrun e Carter (1999), adequada por Silva Neto (2012), onde foram instalados coletores de 0,25 m^2 de superfície útil de coleta. Os coletores possuíam estrutura de madeira com fundo em tela de náilon com malha de 1 mm^2. Os coletores ainda possuíam borda com altura de 10 cm para evitar perdas e eram suspensos a 50 cm do solo. Esses

coletores foram instalados individualmente e distribuídos de forma sistemática em 50 pontos equidistantes em cada um dos sistemas SSPs e na floreta nativa.

Para estimar a quantidade de serrapilheira produzida mensalmente o material depositado nos coletores foi coletado a cada 30 dias (MANCILLA-LEYTÓN, LINEROS, VICENTE, 2013). Estas coletas foram realizadas durante sete ciclos de produção, compreendendo os meses de maio, junho, setembro, outubro, novembro e dezembro de 2012 e janeiro e fevereiro de 2013. Na determinação quantitativa a serrapilheira depositada era coletada, pesada, e seca em estufa de circulação forçada de ar por 72 horas, à 55ºC, para determinação da massa seca. Através da quantidade média de serrapilheira encontrada nos coletores foi estimada a biomassa devolvida mensalmente (g m^{-2} $mês^{-2}$) ao solo dos locais investigados.

Para estimar a quantidade de forragem perdida mensalmente utilizou-se adaptação da metodologia descrita por Cecato et al. (2001) e por Rezende et al. (1999), onde foram instaladas telas coletoras no solo em pontos representativos da pastagem. Estas telas eram devidamente acomodadas em torno da base das touceiras, de modo a conter todo e qualquer material proveniente das plantas, fosse por senescência ou causa mecânica, como pastoreio, sendo considerada perdida qualquer fração da planta que não fosse pastejada. A área útil de coleta de cada tela foi de 1 m^2. Foram instaladas doze unidades coletoras em cada área, com exceção da floresta. Mensalmente o material depositado na tela e/ou senescido no interior da base da touceira era colhido. Na determinação quantitativa das perdas de forragem o conteúdo coletado (material senescido na estrutura das plantas + liteira da forrageira + material tombado) era pesado e seco em estufa de circulação forçada de ar por 72 horas, à 65ºC, para determinação da massa seca. Através da quantidade média de massa de forragem encontrada nas telas coletoras foi estimada a biomassa devolvida mensalmente ao solo nos locais integrados e no monocultivo.

Para avaliar a decomposição da serrapilheira utilizou-se uma adaptação das metodologias descritas por e Mancilla-Leytón, Lineros, Vicente (2013) e Silva Neto (2012), onde coletou-se a serrapilheira já existente no solo, em diferentes graus de decomposição, na ocasião da implantação do experimento. Para avaliar a decomposição da forragem utilizou-se material senescente oriundo da parte

área das plantas (acima de 20 cm) conforme Bahamond et al. (2012). Os materiais coletados foram secos em estufa de ventilação forçada a uma temperatura de 55°C até peso constante, e posteriormente, peneirados em malha de 1 mm². A fração menor que 1 mm de diâmetro foi descartada para permitir a avaliação da decomposição de material em menor grau de degradação, conforme Cunha Neto et al. (2013). Posteriormente, confeccionou-se sacolas de náilon, medindo 20 cm x 20 cm, com tela de náilon de malha de 1 mm², que permite a entrada e o aceso de invertebrados detritivos ao material incubado, e acondicionou-se 30 g de serapilheira ou forragem por sacola.

As sacolas de náilon contendo a serrapilheira foram devolvidas ao campo para mensuração da decomposição nos sistemas SSP 30, SSP 60 e Floresta sem modificar as condições do pasto nos SSPs para não alterar as condições de decomposição (WEDDERBRUN e CARTER 1999). As sacolas contendo forragem retornaram ao campo nas áreas Sol Pleno, SSP 30 e SSP 60. Sacolas com serrapilheira não foram empregadas na área a Sol Pleno.

Em cada ponto da malha do grid de coleta, em todas as áreas avaliadas, foram distribuídas 10 sacolas de náilon na superfície do solo contendo cada material de acordo com a área. As sacolas foram misturadas com a serrapilheira do solo (MANCILLA-LEYTÓN et al., 2013). Bimestralmente, durante o período de avaliação, foi retirada aleatoriamente, uma sacola de serrapilheira e uma de forragem de cada ponto de avaliação nas áreas integradas. Assim foram coletadas sacolas decompositoras (*Litter Bags)* aos 60, 120, 180 e 240 dias após o início da incubação conforme metodologia de Bahamond et al. (2012) e Wedderbrun e Carter (1999).

Na floresta nativa apenas foi coletada sacolas de serrapilheira, enquanto que em Sol Pleno apenas foram coletadas sacolas de forragem. Depois de coletadas, as sacolas foram levadas ao laboratório onde foram retiradas partículas de solo e menores que 1 mm, raízes e pequenos invertebrados, e, em seguida, secas em estufa a 55°C (MANCILLA-LEYTÓN et al., 2013). Correções para contaminantes inorgânicos (principalmente as partículas de solo), foram feitas por determinação da porcentagem destes materiais na serrapilhiera imcubada pelo processo de incineração de amostras (500ºC por 4 horas) conforme Bahamond et al. (2012).

A massa residual foi determinada em balança analítica com precisão de 0,01 g, estimando-se, a velocidade de decomposição (g/bimestre) desse material em relação ao peso inicial (30 g). O percentual de material remanescente e a taxa de decomposição por período (bimestre) foi calculado conforme Cunha Neto et al. (2013) e Silva Neto (2012) pela a seguinte equação:

$$\% \text{ Remanescente} = \frac{\text{Massa Final}}{\text{Massa Inicial}} \text{ x } 100$$

A partir dos percentuais de biomassa remanescente em cada bimestre (período de avaliação) calculou-se da taxa de decomposição bimestral, em porcentagem, e, posteriormente, calculou-se a taxa de decomposição bimestral em gramas por período (bimestre). Para calcular a taxa de decomposição diária *k* (g g^{-1} dia^{-1}), utilizou-se a equação exponencial de primeira ordem (MANCILLA-LEYTÓN et al., 2013), sendo o valor da constante de decomposição do período dividido pelo número de dias do período (60 dias), assim obteve-se a constante de decomposição diária:

$C = C_0 e^{-kt / \text{Período}}$

onde:

C é a massa final das amostras (biomassa ao final de 240 dias);

C_0 é a massa inicial (30 g);

t o tempo de incubação da experimentação (240 dias);

k a constante de decomposição do período

Ainda foi calculado o tempo de meia vida ($t_{1/2}$) (CUNHA NETO et al., 2013; SILVA NETO 2012), conforme Rezende et al. (1999), como sendo aquele necessário para decompor metade da biomassa incubada ($t_{0,5}$ g g^{-1}), segundo a equação: $T_{1/2} = \ln(2) / K$.

Na serrapilheira e na forragem acumulada e incubada (amostras compostas por bimestre, conforme Wedderbrun e Carter (1999)), foram determinados os teores dos nutrientes potássio (K), fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e nitrogênio (N) conforme manual de análises químicas Embrapa (2005). Os teores de N foram determinados pelo método de Kjeldahl; P foi determinado por fotocolorimetria; K foi determinado por fotometria de chama, e Ca e Mg determinados por titulometria. De posse das concentrações destes elementos na serrapilheira e na forragem, e das constantes de decomposição

destes materiais, calculou-se as taxas de acúmulo e mineralização de tais elementos ao longo do tempo. A quantidade absoluta de cada nutriente liberada em cada período (bimestre) foi calculada multiplicando a concentração pelo seu correspondente de massa restante (BAHAMOND et al., 2012).

3.2.5 Estatística

3.2.5.1 Análises Multivariadas

Os dados das variáveis de acúmulo de serrapilheira, perdas de forragem, acúmulos dos nutrientes K, P, Ca, Mg e N e decomposição da serrapilheira e da forragem, oriundos dos pontos da malha de coleta, obtidos ao longo dos sete ciclos de avaliação foram submetidos a avaliações em três etapas (CERRI et al., 2004). Inicialmente os dados foram submetidos a análise exploratória descritiva. Posteriormente foram submetidos a análise multivariada de agrupamentos (AA). Nisso foram utilizados 50 pontos da malha original de cada área integrada, e a sol pleno, e dez pontos da área de floresta nativa, totalizando 160 pontos georreferenciados nas quatro áreas de estudo. Cada ponto (coordenanda) foi identificado com um código sobre a qual área e qual ciclo pertenciam. Estes pontos foram arranjados de forma independente em matriz de relação ponto-variáveis. A aglomeração hierárquica aglomerativa de Ward (VICINI, 2005) foi utilizada como algoritmo para agrupar pontos similares, e separar elementos disssimilares, em função das características de acúmulo, decomposição e liberação de nutrientes de serrapilhiera e liteira. A similaridade ou dissimilaridade foi calculada em função da proximidade dos pontos dada pela distância euclidiana. A separação entre grupos foi determinada pela linha Fenon. O resultado do Cluster foi apresentado na forma de dendograma com aglomeração de pontos similares (VICINI, 2005).

Uma análise fatorial (AF) dos dados que compuseram a AA foi conduzida para determinação das características que formaram os fatores que serviram para delimitar os grupos da análise de cluster. Estes grupos foram distinguidos por características da ciclagem de nutrientes que apresentavam variação similar dentro dos sistemas. Os fatores foram compostos por aquelas características que mais influenciavam na sua formação e foram classificados em fatores de

acúmulos de biomassa e nutrientes, decomposição de biomassa e liberação de nutrientes.

As variáveis foram reduzidas ao número de fatores que explicava um mínimo de 70% das variações que serviam para separar grupos distintos. Para melhor visualização desses fatores, optou-se em utilizar os gráficos de dispersão da nuvem de variáveis em plano cartesiano, ou planos fatoriais, em três dimensões, que expressam a localização das variáveis num sistema de coordenadas criado pelos fatores.

A matriz de relação pontos-variáveis da AA, que serviu para agrupar os pontos dos diferentes sistemas (SSP 60, SSP 30, Sol Pleno e floresta nativa), foi redefinida para permitir o agrupamento dos meses avaliados em função da ciclagem de nutrientes. Cada ponto, com suas variáveis de acúmulo de serrapilheira, perda de forragem, decomposição e liberação de nutrientes, passou a ser codificado pelo ciclo ao qual pertencia em numa nova matiz de pontos-variáveis independentes. Com isso podê-se agrupar os ciclos (meses) nos quais a ciclagem de nutrientes foi semelhante. O método de agrupamento e separação de grupos dissimilares foi similar ao utilizado no agrupamento dos pontos por sistema.

A matriz de pontos-variáveis codificada para sistemas (4 sistemas x 50 pontos) e ciclos (7 ciclos), composta por 19 atributos voltados a ciclagem de nutrientes, a saber: acúmulo de serrapilheira; perda de forragem; acúmulo de K; acúmulo de P; acúmulo de Ca; acúmulo de Mg; acúmulo de N; degradação da serrapilheira; degradação da forragem perdida; liberação de K pela serrapilheira e forragem; liberação de P pela serrapilheira e forragem; liberação de Ca pela serrapilheira e forragem; liberação de Mg pela serrapilheira e forragem; liberação de N pela serrapilheira e forragem; liberação de K pela forragem + serrapilheira; liberação de P pela foragem + serrapilheira; liberação de Ca pela forragem + serrapilheira; liberação de Mg pela forragem + serrapilheira; liberação de N pela forragem + serrapilheira, totalizando 1120 avaliações, foi submetida a análise de componentes principais (ACP) para determinação de novas variáveis, em número reduzido, que explicassem a maior parte das diferenças entre as áreas e que elucidasse quais características mais influenciavam na formação de componentes, ao longo dos sete ciclos, que se mostraram diferentes em função

dos sistemas de manejo (SSPs, monocultivo e floresta nativa). Desta forma pôde-se evidenciar quais fatores da ciclagem de nutrientes foram mais afetados pelo releamento da floresta.

Ainda foi determinada a influência de cada variável real nos componentes gerados pela matriz de correlação existente entre os dados e os autovetores. Foram considerados úteis os componentes principais com autovalores superior a 1 ou que conjuntamente explicavam mais de 70% da variação existente entre os sistemas (MARDIA et al., 1979). O efeito do sombreamento, que é relacionado ao nível de raleamento, foi tratado como um suplemento da ACP, que permitiu identificar quais características são mais influenciadas por este. Este processo permitiu identificar quais características da ciclagem mais contribuem para diferenciação das áreas.

3.2.5.2 Análise Geoestatística e agrupamento Fuzzy

A partir dos componentes principais formados extraíram-se as variáveis de maior relevância dentro dos sistemas e submeteu-as a uma análise geoestatística. Neste processo os dados georreferenciados das variáveis de acúmulo de serrapilheira, perda de forragem, decomposição da serrapilheira e forragem e liberação de nutrientes, mais influentes na ACP, oriundo dos sete ciclos, cumpuseram uma média geral por ponto e foram submetidos a análise descritiva e exploratória dos dados. Foram calculados a média, mediana, moda, máximo, mínimo, coeficientes de variação, assimetria e curtose, e a semivariância, donde se determinou a aptidão dos dados para serem processados pela análise geoestatística (SILVA NETO et al., 2012).

A análise da semivariância serviu para determinar a forma de distribuição espacial de todas as variáveis na área como um todo, mas em função dos sistemas, e foi mensurada por meio da construção de semivariogramas. A variabilidade de cada parâmetro foi determinada por meio da construção de seu respectivo semivariograma. Os semivariogramas foram ajustados a modelos matemáticos teóricos – esférico, exponencial, linear e gaussiano – em função da nuvem de pontos (SILVA NETO et al., 2012), para definição dos valores do efeito pepita (C_0), do alcance (A) e do patamar ($C + C_0$) e posterior interpolação.

O padrão de dependência espacial foi calculado pela semivariância e autocorrelação em função da distância γ(h) (MATHERON, 1963), através da equação:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

em que: N(h) é o número de pares de valores medidos Z(xi), Z(xi+h), separados pela distância h, (Vieira et al., 1983). O gráfico de γ*(h) versus os valores correspondentes de h, é uma função do vetor h, e, portanto depende de ambos, magnitude e direção de h.

A seleção do modelo teórico em função das variâncias reais foi realizada observando-se a soma do quadrado dos resíduos (SQR), coeficiente de determinação (R^2), maior grau de dependência espacial (GDE). Os valores da semivariância e ajuste aos modelos, bem como sua precisão, foram determinados pelo software GS+ (ROBERTSON, 1998),

Para análise do grau de dependência espacial (GDE) das variáveis relacionadas a ciclagem de nutrientes foi utilizada a relação $C/(C + C_0)$, classificada segundo Robertson (1998) como forte (GDE ≥ 0,75), moderada (0,25 ≤ GDE < 0,75) e baixa dependência (GDE < 0,25). A equação do GDE utilizada foi:

$$GDE = \left[\frac{C}{C + C_0}\right] 100$$

Após o ajuste dos semivariogramas os dados foram submetidos diretamente à interpolação pelo método da krigagem, considerando a distância e a variância entre pontos vizinhos para a geração de valores de todas as características avaliadas em locais não amostrados.

O resultado do diagnóstico das diferentes características foi expresso na forma de mapas de isolinhas, e a maneira de localizar uma isolinha entre dois pontos foi determinada pela interpolação dos dados, por meio de krigagem ordinária (LANDIM, 2006). Foi utilizado o software Surfer 8.0 (GOLDEN SOFTWARE, 2002) para manipulação e visualização da distribuição espacial, por meio da construção dos mapas, de acordo com as coordenadas geográficas. A análise e os mapas foram feitos tratando-se a área estudada como um todo, sem a divisão por sistema.

A partir dos componentes principais formados na ACP e usados na análise geoestatísticas extraíram-se as variáveis de maior relevância dentro dos sistemas e agrupou-as pelo método não hierárquico fuzzy *k*-médias. Este processo transformou as diversas variáveis das componentes principais de cada ponto da malha em um único autovalor de representação e os mapas das diversas variáveis de diferentes gêneros, que formaram as componentes principais em um único autovalor artificial representativo, entre 0 e 1, onde 1 significa a adesão plena a um determinado grupo e 0 a não adesão a este grupo (DOBERMANN e OBERTHUR, 1997). Para isso considerou-se cada ponto de informação oriunda da malha de cada atributo válido. Eles foram usados para combinar diferentes aspectos da ciclagem de nutrientes em um índice geral da ciclagem (DOBERMANN e OBERTHUR, 1997). Estes novos valores serviram para determinar classes de sistemas em função da ciclagem total (SILVA NETO. 2012).

A definição dos valores e classes foi obtida através do software FuzMe 3.0 (MINASNY e McBRATNEY, 2002). O número de classes foi restringido ao mínimo de 2 e máximo de 5, com máximo de 300 interações e agrupamento pela distância euclidiana ao centroíde.

O número ótimo de classes foi determinado pelo menor índice de desempenho fuzzy (FPI), que implica na redução da sobreposição de *clusters* e do grau de confusão.

Os novos valores das médias fuzzy foram utilizados para elaborar novo mapa de classes que resume todas as variáveis. Novamente utilizou-se a ferramenta geoestatística para construção de um mapa de classes para os sistemas.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Respostas das avaliações descritivas e análises multivariadas

3.3.1.1 Produção de serrapilheira

Os resultados referentes as avaliações descritivas das características da ciclagem de nutrientes por ciclo, da produção de serrapilheira nos SSP 30, SSP 60 e na floresta, das perdas de forragem (liteira) no SSP 30, SSP 60 e em Sol pleno, da taxa de decomposição da serrapilheira e da literia do pasto e dos nutrientes K, P, Ca, Mg e N liberados por estes materiais, ao longo de sete ciclos, são apresentados na Tabela 2. A produção de serrapilheira ocorreu de forma contínua no decorrer do período de avaliação, com considerável variação entre os meses, estando de acordo com observações de Silva Neto (2012) e Wedderburn e Carter (1999). Foi observado que as maiores deposições de serrapilheira, nas áreas integradas e na floresta, ocorreram nos meses de maio, junho e setembro, possivelmente por estes meses serem de transição entre estações secas e chuvosas, onde há redução da disponibilidade hídrica (Tabela 1) e a resposta da vegetação ao estresse hídrico causado pela estação seca e as transições é a perda de folhas para reduzir a superfície transpirante, tolerando assim à seca (CIANCIARUSO et al., 2006).

Os meses referentes a estação das chuvas (outubro, novembro, dezembro e janeiro) (Tabela 1) apresentaram menores deposições de biomassa em relação os meses sob influência da seca, com produção mensal bastante parecida em cada sistema dentro deste período (Tabela 2). Resultados semelhante são apresentados por Rezende et al. (1999).

A maior produção de serrapilheira entre os sistemas com componente arbóreo foi verificada na floresta (média de 62,76 g de MS de serrapilheira m^{-2} $mês^{-1}$). O SSP 60 apresentou produção média de 27,23 g de MS de serrapilheira m^{-2} $mês^{-1}$, enquanto o SSP 30 produziu 27,92 g de MS de serrapilheira m^{-2} $mês^{-1}$ (Tabela 2). Isto demonstrou que os raleamentos da floresta para atingir os níveis de sombreamento moderado (30%) e alto (60%) causaram redução do retorno de biomassa ao solo em relação a floresta. Peri et al. (2008a) confirmam que o raleamento da floreta reduz o aporte de detritos ao solo. Em seu estudo para compor um sistema silvipastoril observaram redução da deposição de biomassa

da ordem de 30 a 50% em relação a floresta. Neste estudo a redução média entre os sistemas integrados e a floresta foi de 43,93%. Embora haja redução da deposição de serrapilheira é possível haver aumento da taxa de decomposição e liberação de nutrientes (BAHAMOND et al., 2012), mas isso não foi evidenciado neste estudo. Silva Neto (2012) avaliando a deposição de serrapilheira em sistemas silvipastoris sob floresta secundária de transição Amazônia:Cerrado observou deposições de 25,33 e 28,00 g m^{-2} $mês^{-1}$ para as áreas com 57 e 71% de sombreamento. Na floresta nativa verificou-se deposição de 46,16 g m^{-2} $mês^{-1}$. A redução da deposição de serrapilheira por motivo do raleamento, em relação a floresta foi de 43,91%. Tais valores se assemelham do observado no presente estudo. Vitousek e Sanford (1986) reportam que a produção de serapilheira em florestas tropicais brasileiras sob solos de baixa fertilidade, variam de 53,33 a 82,5 g m^{-2} $mês^{-1}$.

A redução da deposição de serrapilheira ocorreu pelo fato que nos sistemas integrados houve retirada de árvores e manutenção das palmeiras de babaçu, que produzem pouca serrapilheira. O maior raleamento em SSP 30, em relação a SSP 60, não promoveu redução da deposição de biomassa, e isso pode ser o resultado do fato de em SSP 30 haver árvores semicaducifólias (35% de espécies codominantes, intermediárias e suprimidas) além do babaçu, enquanto em SSP 60 a principal espécie arbórea foi o babaçu (90% - espécie dominante). Silva Neto (2012) também não observou diferenças na deposição de serrapilheira entre sistemas silvipastoris de floresta secundária sob regime de raleamento para atingir 57 e 71% de sombreamento.

Mancilla-Leytón,Sánchez-Lineros e Vicente (2013) encontraram valores de acúmulo de serrapilheira de pinheiros em sistema silvipastoril da ordem de 36,90 g de MS de serrapilheira m^{-2} $mês^{-1}$, valores também aproximados ao encontrados nos sistemas integrados neste estudo. Benavides et al., (2009), reportam que sistemas silvipastoris com espécies arbóreas caducifólias contribuem mais efetivamente para o aumento da deposição de biomassa e nutrientes do solo, fato que pode ter ocorrido em SSP 30.

3.3.1.2 Perdas de forragem

As perdas de forragem, ou produção de liteira do pasto, ocorreram principalmente na área a Sol Pleno. As médias observadas foram de 50,41 g de MS de liteira m^{-2} $mês^{-1}$ em Sol Pleno, 29,93 g de MS de liteira m^{-2} $mês^{-1}$ em SSP 30 e 21,11 g de MS de liteira m^{-2} $mês^{-1}$ em SSP 60 (Tabela 2). A maior senescência de tecidos foliares em Sol Pleno pode ser o resultado do metabolismo celular mais intenso, promovendo maior produção de novos tecido e aumentando a translocação de nutrientes de folhas mais velhas. Ainda, esta maior senescência no ambiente aberto pode ser o resultado do maior incidência de raios UVB e UVC que prejudicam o sistema fotossintético e causam morte prematura de células e tecidos (ZUK-GOLASZEWSKA et al., 2003). Baligar et al. (2010) relatam que excesso de radiação é prejudicial ao aparato fotossintético e acelera a senescência foliar, mesmo em espécies tropicais.

3.3.1.3 Acúmulo de nutrientes

Os acúmulos dos nutrientes N, P, K, Ca, e Mg, oriundos da serrapilheira, nos sistemas integrados foi inferior ao acúmulo registrado na floresta. Foram observadas médias de acúmulos de 390, 120, 230, 949 e 400 mg m^{-2} $mês^{-1}$ para K, P, Ca, Mg e N, respectivamente, para a floresta nativa. Os SSPs apresentaram médias de acúmulos de 88, 190, 780,180 e 180 mg m^{-2} $mês^{-1}$ para K, P, Ca, Mg e N, respectivamente, no SSP 30, e acúmulos de 39, 24,37, 5,1 e 12 mg m^{-2} $mês^{-1}$ para K, P, Ca, Mg e N, respectivamente, em SSP 60. Entre os sistemas integrados (SSP 30 e SSP 60) verificou-se que os maiores acúmulos ocorreram em SSP 30, justamente onde havia menor densidade arbórea, o que parece contraditório, mas pode ser explicado pela composição florística destes dois locais como já mencionado. Os nutrientes mais acumulados (retornados ao solo) (Tabela 2) foram o Ca e o Mg, haja vista a maior mobilidade dos elementos K e N, que são translocados antes do caimento das folhas (BAHAMOND et al., 2012; DIEHL et al., 2003).

A superioridade da floresta em relação os ambientes integrados esta relacionada ao fato de neste local haver maior densidade arbórea e maior diversidade florística. Bahamond et al., (2012) também comenta que a qualidade da serrapilheira é modificada por alterações nas proporções de plantas. Já os

maiores acúmulos do SSP 30, em relação ao SSP 60, possivelmente ocorreram porque neste ambiente, embora existam menos árvores, há espécies que possuem maior deposição de serrapilheira com maior teor destes nutrientes em seus tecidos. Estas alterações na deposição de biomassa e de nutrientes também são resultados da modificação da abertura da copa das árvores, que altera a temperatura do ar, do solo e a umidade (BAHAMOND et al., 2012).

Os resultados evidenciam que tanto o nível do raleamento quanto a seleção do componente arbóreo podem modificar o aporte de nutrientes retornados ao solo. Bahamond et al., (2012) cita que o raleamento de floresta para compor sistemas integrados pode reduzir de 30 a 35 % a ciclagem de nutrientes via serrapilheira. Neste caso a presença exclusiva do babaçu tendeu a reduzir a ciclagem dos nutrientes avaliados, enquanto a manutenção de maior diversidade arbórea tendeu a manter (CARDENAS et al., 2008) a ciclagem de nutrientes mais parecida com a ciclagem na floresta. Isto possivelmente ocorreu pelo fato da deposição de serrapilheira de babaçu ser menor que aquela existente na floresta, e que tal serrapilheira apresenta baixos teores dos elementos avaliados em seus tecidos.

Bahamond et al. (2012) também reportam que raleamentos seletivos podem reduzir a deposição de serrapilheira e modificar a composição química deste material no que se refere à teores de C e lignina. Eles observaram, em seus estudos, que o raleamento para compor um silvipastoril reduziu a deposição de detritos e elevou os teores de carbono e lignina no material depositado. Wedderburn e Carter (1999) mencionam que a lignina pode apresentar meia vida de 12 meses e que com o passar do tempo sua participação na massa incubada pode elevar-se, o que diminui o retorno de nutrientes ao solo.

Ao longo dos ciclos avaliados pôde-se observar que os maiores acúmulos dos nutrientes K, P, Ca, Mg e N ocorreram nos meses relacionados ao período seco (junho setembro) e os menores acúmulos ocorreram na estação das chuvas (novembro, dezembro e janeiro) (Tabela 2). Foram verificados acúmulos médios de 200, 160, 270, 31 e 930 mg m^{-2} $mês^{-1}$ de K, P, Ca, Mg e N respectivamente, nos meses de estiagem e acúmulos de 71, 14, 45, 7,3 e 7,5 mg m^{-2} $mês^{-1}$ para K, P, Ca, Mg e N respectivamente nos meses de chuvas (Tabela 1).

As maiores deposições de serrapilheira ocorreram no mês de junho, e isso pode ser indício da preparação das plantas para o período seco, onde a perda das folhas funciona como mecanismo de adaptação ao estresse hídrico. A menor deposição de serrapilheira no período de chuvas pode estar relacionado a diminuição da perda de folhas pelas árvores em função das disponibilidade de água no solo e/ou a produção de tecidos de reprodução, que possuem maior tempo de vida. A redução de deposição de nutrientes pode estar relacionada a translocação de nutrientes para órgão de reprodução.

O acúmulo de nutrientes oriundos da liteira do pasto em Sol Pleno foi superior ao acúmulo de nutrientes oriundos da serrapilheira, tanto nos sistemas integrados como na floresta nativa (Tabela 2). Foram averiguados acúmulos médios de 760, 530, 580, 47 e 1020 mg m^{-2} $mês^{-1}$ de K, P, Ca, Mg e N, respectivamente, na liteira do pasto. Já na serrapilheira constataram-se acúmulos de apenas 270, 110, 110, 17 e 440 mg m^{-2} $mês^{-1}$ de K, P, Ca, Mg e N, respectivamente. Esta maior quantidade de nutrientes do pasto retornados ao solo é o resultado da maior taxa de senescência neste ambiente, em relação aos ambientes integrados, da presença de biomassa verde viva, acamada por efeitos mecânicos, e do maior teor destes nutrientes na liteira em relação a serraplheira das árvores, que possui componentes como pecíolos, galhos e cascas, dentre outros, com elevados teores de lignina (WEDDERBURN e CARTER, 1999). Wall (2006) também reporta menor taxa de senecência em pastagens sombreadas devido a falta de luz, baixa produção de carboidratos solúveis e menor desenvolvimento vegetal (BENAVIDES et al., 2009).

De modo geral, o retorno de nutrientes via serrapilheira e liteira do pasto são baixos, considerando sua pequena deposição, baixo teor de elementos nos tecidos e taxa de decomposição, o que faz com que estes ambientes explorados pela pecuária necessitem de aporte extra de nutrientes via a fertilização para produção.

3.3.1.4 Decomposição da serrapilheira

A decomposição global da serrapilheira (% de biomassa), ao se considerar as perdas de biomassa por ciclo, foi pouco afetada pelo raleamento (Tabela 2) estando em acordo com Prescott et al. (2000). Na floresta, constatou-se que a

decomposição foi em média de 7,88% ao bimestre. Em SSP 30 esse valor foi de 8,10% e em SSP 60 a decomposição foi de 7,90%. Esta pequena superioridade numérica para a decomposição em SSP 30 pode estar relacionada ao fato de raleamentos de floresta ara níveis de sombreamento de aproximadamente 50% elevarem a taxa de decomposição (BAHAMOND et al. 2012; CALDENTEY et al., 2001) devido a aumentos da temperatura ou 'fotodegradação' (BRANDT et al., 2007). Redução de deposição de serrapilheira e ligeiro aumento da taxa de decomposição em ambientes raleados também são citados por Bahamond et al. (2012). Esta área também possuiu maior atividade de pastoreio por ovinos.

Estes resultados demonstram que os níveis de raleamento não afetaram drasticamente a taxa de decomposição, já que, possivelmente, os níveis de raleamento não afetaram a atividade decompositora de microorganismos, e principalmente da macrofauna (minhocas, centopéias, cupins, artrópodes e isópodes), que apresentam grande importância na decomposição de biomassa vegetal do solo (YANG et al. 2012). Isto evidencia que as diferenças na liberação de nutrientes encontradas entre os sistemas integrados e a floresta foram resultantes principalmente de diferenças na quantidade e na qualidade do material depositado (MANCILLA-LEYTÓN et al., 2013, BAHAMOND et al., 2012).

A decomposição da serrapilheira ao longo do tempo, independentemente do local, apresentou uma diminuição de magnitude variável (Tabela 2). As taxas, expressas em porcentagem, revelam que no 1º ciclo (1º bimestre) houve decomposição de 11,37% do material incubado. No 2º ciclo a decomposição foi de 8,5% do material remanescente do ciclo anterior. Já no 3º ciclo essa decomposição foi de 6,49% e no 4º ciclo esse valor foi de apenas 5,82% do material remanescente dos ciclos anteriores. Esta redução na taxa de decomposição, com o passar do tempo, possivelmente ocorreu devido a perda de nutrientes da biomassa incubada ao longo do período de avaliação (BRANDT et al., 2007), tornando o material remanescente com maior relação C:N a cada ciclo, o que dificulta a atividade decompositora. Isto ocorre porque alguns nutrientes são facilmente extraídos da matriz vegetal, como o K, e, porque, vários compostos, como açúcares e nitrogenados (proteínas e peptídeos), são rapidamente degradados, restando na biomassa composto recalcitrantes como celulose, taninos e lignina (BERG et al., 1996).

Mancilla-Leytón et al., (2013) relatam que a decomposição da matéria orgânica é variável ao longo do tempo, com magnitudes diferentes, tendendo a diminuir com o aumento da relação C:N a medida que mais compostos recalcitrantes vão sendo produzidos pela atividade decompositora. Assim, a degradação depende, em parte, dos teores de N, que promovem aumentos na eficiência decompositora, mas também aceleram a formação de compostos estáveis, reduzindo a taxa de decomposição. Wedderburn e Carter (1999) também mensuraram que com o passar do tempo os teores de lignina da serrapilheira em decomposição vão se elevando, o que reduz a decomposição, assim como observado neste estudo.

As taxas de decomposição da liteira dos pastos (sistemas integrados SSP 30 e SSP 60) e Sol Pleno, expressa em porcentagem do material incubado, também não foram modificadas pelos níveis de raleamento, sendo semelhante entre si e iguais a decomposição da liteira em Sol Pleno (Tabela 2). Foi observado que a decomposição em Sol Pleno era de 21,61%. Já decomposição em SSP 30 era de 19,95% e em SSP 60 esse valor era de 20,76. Tal semelhança da indicativo que a eficiência da atividade decompositora na pastagem solteira pode ser similar a atividade dos sistemas integrados. Logo, o bom manejo da pastagem sob monocultivo pode promover a atividade biológica do solo semelhante a de sistemas agroflorestais. A partir destes dados infere-se que discrepâncias na liberação de nutrientes da literia do pasto destes três ambientes são resultado de fatores como a quantidade depositada e a qualidade da liteira em cada sistema e não de diferentes taxas de decomposição. Benavides et al., (2009) reportam que gramíneas sombreadas podem apresentar maiores teores de nutrientes em seus tecido vivos e isso pode melhorar a ciclagem de nutrientes do solo.

Ao longo do tempo, a decomposição da liteira do pasto, independentemente do local, apresentou diminuição de magnitude variável (Tabela 2). As taxas, expressas em porcentagem, revelam que no 1º ciclo (1º bimestre) houve decomposição de 32,56% do material incubado. No 2º ciclo a decomposição foi de 19,02% do material remanescente do ciclo anterior. Já no 3º ciclo a essa decomposição foi de 17,39% e no 4º ciclo esse valor foi de apenas 14,11% do material remanescente dos ciclos anteriores. Bahamond et al. (2012) avaliando a decomposição de liteira do pasto também verificaram que as maiores taxas de

decomposição ocorreram até os primeiros 60 dias, sendo drasticamente reduzidas após 180 dias.

Esta redução na taxa de decomposição da liteira com o passar do tempo, assim como na serrapilheira, possivelmente ocorreu devido a perda de nutrientes de fácil extração da matriz vegetal e de várias moléculas, como açúcares solúveis, polissacarídeos e compostos nitrogenados (proteínas e peptídeos), que são rapidamente degradados, restando na biomassa compostos recalcitrantes, como celulose, hemicelulose e lignina, elevando, desta forma, a relação C:N e o conteúdo de lignina, limitando a ação biológica (BAHAMOND et al., 2012; WEDDERBURN e CARTER,1999).

Comparando-se a decomposição da serrapilheira e da liteira do pasto, ao se considerar todo o período de avaliação, (Tabela 2), pode-se observar que a liteira possuiu maior taxa de decomposição. Para a serrapilheira foi constatada decomposição média de 8,45 % do total da biomassa incubada ao longo de 4 bimestres. Já para a liteira essa decomposição foi de 20,77%. Bahamond et al. (2012) reportam valores de decomposição para serrapilheira e literia da ordem de 20 e 27% respecitivamente, sendo observado maior decomposição da liteira em relação a serrapilheira.

As médias de decomposição demonstram a maior facilidade de decomposição da liteira em relação a serrapilheira, já que liteira possui grande quantidade de compostos nitrogenados, menor relação C:N, maior teor de nutrientes e espaços entre os parênquimas (paliçádico e lacunoso) que permitem melhor colonização. Já a serrapilheira possui grande quantidade de tecidos vegetais fibrosos e lignificados. Bahamond et al. (2012) avaliando o material depositado no solo em sistemas agroflorestais e pastagem em monocultivo observaram que sob o sistema integrado o material depositado possui maior relação C:N. Ainda, Prescott (2005) afirma que diferenças nas taxas de decomposição de diferentes detritos vegetais pode ser resultados de diferenças específicas químicas e/ou físicas e suas interações.

3.3.1.5 Liberação de nutrientes

A liberação dos nutrientes pela serrapilheira e liteira do pasto se deu de forma análoga, entre sistemas e ciclos produtivos, à deposição de serrapilheira e liteira. A maior liberação de nutrientes K, P, Ca, Mg e N pela serrapilheira entre os sistemas com componente arbóreo foi verificada na floresta (Tabela 2). Entre os sistemas integrados (SSP 30 e SSP 60) a maior liberação foi verificada em SSP 30. Na floresta observou-se médias mensais de liberação de K, P, Ca, Mg e N na ordem de 38, 77,13, 1,6 e 91 mg m^{-2} $mês^{-1}$ respectivamente. No SSP 30 a liberação média de K, P, Ca, Mg e N foi de 1,6, 10, 4,2, 1,5 e 74 mg m^{-2} $mês^{-1}$ respectivamente. Já no SSP 60 a liberação média de K, P, Ca, Mg e N foi de 1,8, 1,1, 1,8, 0,92 e 5,7 mg m^{-2} $mês^{-1}$ respectivamente.

Esta redução da liberação de nutrientes pela serrapilheira nos sistemas integrados, em relação a floresta, esta relacionada a diminuição quantitativa e qualitativa do componente arbóreo por efeito do raleamento. A menor liberação de nutrientes no SSP 60, em relação ao SSP 30, pode estar condicionada pelo fato de que em SSP 30, embora houvesse menor densidade arbórea, havia maior diversidade vegetal (CARDENAS et al., 2008), haja vista que a serrapilheira dos babaçuais possuem baixo teor de nutrientes (MOREIRA FILHO e OLIVEIRA, 2008). Bahamond et al. (2012), avaliado a liberação de nutrientes de serrapilheira observou que embora a liberação dos nutrientes da não fosse afetada pelo raleamento, a deposição de liteira era, e assim o retorno dos elementos era modificado, fato também confirmado neste estudo.

De modo geral, o retorno dos nutrientes K, P, Ca, Mg e N ao solo via serrapilheira na floresta foi da ordem de 4,56, 9,24, 1,56, 0,13 e 10,92 kg ha^{-1} ano^{-1}. No SPP 30 este retorno foi de 0,192, 1,2, 0,504, 0,180 e 8,8 kg ha^{-1} ano^{-1}, para K, P, Ca, Mg e N respectivamente. Já no SSP 60 o retorno de K, P, Ca, Mg e N foi de 0,216, 0,132, 0,216, 0,110 e 0,684 kg ha^{-1} ano^{-1} respectivamente. Estas entradas de nutrientes nos sistemas integrados via serrapilheira, embora não sendo a única fonte, são extremamente baixas, sendo necessária a adubação de reposição para exploração sustentável e satisfatória dos sistemas pela pecuária. Reis et al. (2009), observaram que a serrapilheira de sistemas integrados na região do Cerrado, retornaram uma quantidade de 7,8; 0,3; 3,9 e 0,7 kg ha^{-1} ano^{-1} de N, P, K e Ca respectivamente. Já Xavier et al. (2011), em região de Mata

Atlântica verificaram deposição de 22,8 kg ha^{-1} ano^{-1} em silvipastagem de *Urochloa decumbens.*

Ao longo dos ciclos os maiores retornos dos elementos K, P, Ca, Mg e N ocorreram nos meses relacionados aos períodos de transição chuvas/seca e seca/chuvas, a saber maio e setembro (Tabela 2). Nos meses de novembro, dezembro e janeiro (época das chuvas) constataram-se os menores valores de retorno. Nos períodos sob efeitos da estiagem o retorno médio dos elementos K, P, Ca, Mg e N foi de 28, 14, 18, 2,4 e 74 mg m^{-1} mês^{-1} respectivamente. Já no período das chuvas o retorno médio dos nutrientes K, P, Ca, Mg e N foi de 0,62, 0,48, 0,54, 0,17 e 35 mg m^{-2} mês^{-1}. Estes maiores valores de retorno de nutrientes ao solo via serrapilheira, nos períodos de seca, podem estar relacionados as maiores taxas de deposição e decomposição de biomassa neste períodos, haja vista que mesmo nesta época as condições de umidade do solo podem permitir a atividade microbiana decompositora. Wedderburn e Carter (1998) mencionam que em sistemas integrados a decomposição é afetada principalmente pela qualidade da serrapilheira, e em pequena proporção por condições de sazonalidade. Ainda, as maiores liberações nesta época possivelmente ocorreram devido as taxas de decomposição da serrapilheira serem maiores no início da incubação, sendo reduzida nos períodos posteriores.

A liberação dos nutrientes K, P, Ca, Mg e N pela literia do pasto foi superior a liberação destes nutrientes pela serrapilheira, tanto dos sistemas integrados como na floresta nativa (Tabela 2). Foram verificados, em Sol Pleno, valores médios de liberação de 66, 46, 5,1, 4,1 e 87 mg m^{-2} mês^{-1}. Nos sistema com presença do componente arbóreo (SSP 30, SSP 60 e floresta) a liberação média foi de apenas 30, 29, 3,3, 1 e 56 mg m^{-2} mês^{-1} para os nutrientes K, P, Ca, Mg e N respectivamente. Este maior aporte de nutrientes via liteira esta relacionado ao fato desta apresentar maior teor destes elementos em seus tecidos, bem como de possui maior taxa de decomposição. Já esta maior capacidade de ciclagem de nutrientes via liteira confere aos sistemas integrados maior ciclagem global que a floresta, enquanto que o SSP 30 possui maior ciclagem que o SSP 60 devido a maior produção de forragem. A maior ciclagem via liteira no SSP 30 em relação ao SSP 60 também pode estar relacionada ao fato das gramíneas sob maior

sombreamento (SSP 60) apresentar menor teor de MS e maior teor de fibra (BENAVIDES et al., 2009).

A ciclagem total de nutrientes entre os dois sistemas integrados, SSP 30 e SSP 60, considerando o *pool* de nutrientes oriundo da serrapilheira e da liteira do pasto foi maior no SSP 30, já que neste ambiente, além da maior produção de forragem, houve a presença de várias espécies arbóreas com folhagem sazonal e de acordo com Benavides et al.,(2009) sistemas silvipastoris com espécies caducifólias possuem maior valor nutricional das folhas que espécies perenes, o que de certa forma indica a produção de serrapilheira de maior qualidade com maior taxa de mineralização. Ainda, a perda da folhagem do componente arbóreo contribui para o crescimento e o desenvolvimento do pasto, o que aumenta sua ciclagem de nutrientes.

Tabela 2. Médias por ciclos (7) de atributos da ciclagem de nutrientes em sistemas silvipastoris de floresta secundária de babaçu e capim Mombaça com 30 e 60% de sombreamento (SSP 30 e SSP 60), floresta nativa e pasto sob monocultivo à sol Pleno (SP).

Sistemas		SP							SSP 30						SSP 60						
	Ciclos	1ºi	2º	3º	4º	5º	6º	7º	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º
Variáveis																						
Ac. Sp (g m-² mês-¹)		-	-	-	-	-	-	-	57,04	61,91	33,27	15,40	19,07	18,79	16,56	39,14	65,30	27,30	12,12	16,35	14,78	915
Perda Fg (g m-² mês-¹)		22,73	25,6	17,45	74,04	83,75	67,54	61,82	11,34	13,26	11,04	32,65	50,72	41,85	48,65	8,15	7,92	6,14	23,94	35,30	30,71	35,64
Ac. K (g m-² mês-¹)		0,41	0,59	0,26	1,12	1,18	0,95	0,87	0,22	0,22	0,13	0,017	0,010	0,012	0,011	0,016	0,050	0,023	0,011	0,014	0,013	0,005
Ac. P (g m-² mês-¹)		0,32	0,21	0,16	0,72	0,96	0,78	0,71	0,13	1,16	0,05	0,009	0,009	0,008	0,0086	0,10	0,034	0,012	0,0066	0,008	0,0088	0,0042
Ac. Ca (g m-² mês-¹)		0,029	0,027	0,018	0,079	0,10	0,081	0,074	0,19	0,19	0,12	0,012	0,013	0,015	0,011	0,17	0,035	0,024	0,010	0,005	0,010	0,007
Ac. Mg (g m-² mês-1)		0,021	0,020	0,014	0,063	0,083	0,067	0,061	0,031	0,051	0,028	0,0023	0,013	0,0028	0,0035	0,011	0,007	0,006	0,0023	0,0049	0,0024	0,0015
Ac. N (g m-² mês-¹)		0,48	0,45	0,32	1,38	1,78	1,43	1,31	0,75	4,16	0,58	0,055	0,055	0,065	0,072	0,45	0,14	0,088	0,039	0,046	0,052	0,025
Deg. Sp (%)		-	-	-	-	-	-	-	12,12		9,16		6,76		6,40	11,77		7,73		5,96		5,74
Deg Fg. (%)		31,54		18,14		16,33		13,80	33,95		20,21		18,26		14,02	32,21		18,73		17,58		14,53
LKS (mg m-² mês-¹)		63	59	24	100	90	73	56	16	81	62	0,84	0,43	0,41	0,32	9,1	1,8	0,92	0,45	0,35	0,42	0,13
LPS (mg m-² mês-¹)		35	33	15	65	74	59	45	8,6	64	2,6	0,48	0,30	0,28	0,23	5,5	1,2	0,48	0,27	0,24	0,27	0,10
LCaS (mg m-² mês-¹)		4,5	4,2	1,6	7,1	7,7	6,2	4,7	12	10	5,9	0,55	0,44	0,29	0,32	9,3	1,9	0,95	0,43	0,15	0,31	0,17
LMgS (mg m-² mês-¹)		3,2	3,0	1,3	5,7	6,4	5,1	3,9	2,0	2,8	1,3	0,11	0,095	0,082	0,097	0,58	0,41	0,24	0,099	9,3	0,088	0,039
LNS (mg m-² mês-¹)		73	69	29	120	130	110	84	48	44	27	2,7	1,8	2,1	1,9	24	7,5	3,4	1,6	1,4	1,5	0,63

Ciclo: 28 dias: 1º: Maio; 2º: Junho; 3º Outubro; 4º Novembro; 5º: Dezembro; 6º: Janeiro; 7º Fevereiro; Ac. Sp: acúmulo de serrapilheira; Perda Fg: acúmulo de forragem depositada no solo; Ac K: acúmulo de K; Ac P: acúmulo de P; Ac Ca: acúmulo de Ca; Ac Mg: acúmulo de Mg; Ac N: acúmulo de N; Deg Sp: degradação da serrapilheira (bimestral); Deg Fg: degradação de forragem (bimestral); LKS: liberação de K pela serrapilheira; LPS: liberação de P pela serrapilheira; LCaS: liberação de Ca pela serrapilheira; LMgS: liberação de Mg pela serrapilheira; LNS: liberação de N pela serrapilheira; LKFS: liberação de K pela forragem e serrapilheira; LPFS: liberação de P pela foragem e serrapilheira; LCaFS: liberação de Ca pela forragem e serrapilheira; LMgFS: liberação de Mg pela forragem e serrapilheira; LNFS: liberação de N pela forragem e serrapilheira.

Continua

Tabela 2. Médias por ciclos (7) de atributos da ciclagem de nutrientes em sistemas silvipastoris de floresta secundária de babaçu e capim Mombaça com 30 e 60% de sombreamento (SSP 30 e SSP 60), floresta nativa e pasto sob monocultivo à sol Pleno (SP).

Sistemas	Floresta						
Ciclos	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º
Variáveis							
Ac. Sp (g m-² mês-¹)	89,30	126,7	98,23	35,30	35,28	25,30	29,20
Perda Fg (g m-² mês-¹)	-	-	-	-	-	-	-
Ac. K (g m-² mês-¹)	0,25	0,65	0,18	3,67	0,04	0,03	0,03
Ac. P (g m-² mês-¹)	0,40	0,22	0,043	0,018	0,031	0,026	0,023
Ac. Ca (g m-² mês-¹)	0,44	0,60	0,50	0,034	0,021	0,017	0,026
Ac. Mg (g m-² mês-1)	0,028	0,098	0,034	0,0058	0,020	0,006	0,0066
Ac. N (g m-² mês-¹)	0,25	1,80	0,26	0,11	0,17	0,084	0,13
Deg. Sp (%)	10,82		8,62		6,75		5,33
Deg Fg. (%)	-		-		-		-
LKS (mg m-² mês-¹)	44	35	9,2	18	1,6	1,1	0,86
LPS (mg m-² mês-¹)	18	24	8,7	0,93	1,1	0,97	0,63
LCaS (mg m-² mês-¹)	50	31	9,5	1,7	0,79	0,65	0,71
LMgS (mg m-² mês-¹)	40	51	11	0,29	0,31	0,22	0,17
LNS (mg m-² mês-¹)	13	94	13	56	64	31	34

Conclusão

Ciclo: 28 dias;1º: Maio; 2º: Junho; 3º Outubro; 4º Novembro; 5º: Dezembro; 6º: Janeiro; 7º Fevereiro; Ac. Sp: acúmulo de serrapilheira; Perda Fg: acúmulo de forragem depositada no solo; Ac K: acúmulo de K; Ac P: acúmulo de P; Ac Ca: acúmulo de Ca; Ac Mg: acúmulo de Mg; Ac N: acúmulo de N; Deg Sp: degradação da serrapilheira (bimestral); Deg Fg: degradação de forragem (bimestral); LKS: liberação de K pela serrapilheira; LPS: liberação de P pela serrapilheira; LCaS: liberação de Ca pela serrapilheira; LMgS: liberação de Mg pela serrapilheira; LNS: liberação de N pela serrapilheira; LKFS: liberação de K pela forragem e serrapilheira; LPFS: liberação de P pela foragem e serrapilheira; LCaFS: liberação de Ca pela forragem e serrapilheira; LMgFS: liberação de Mg pela forragem e serrapilheira; LNFS: liberação de N pela forragem e serrapilheira.

A liberação dos nutrientes K, P, Ca, Mg e N pela serrapilheira + liteira do pasto (ciclagem vegetal total), nos sistemas integrados, foi maior que a liberação destes elementos na floresta nativa (Tabela 3). Em média, nos ambientes integrados, a liberação de K, P, Ca, Mg e N foi de 42, 29,5, 61,5, 32,5 e 29,5 mg m-² mês-¹ respectivamente, enquanto na floresta a liberação foi de 40, 8, 13, 27, e 20 mg m-² mês-¹. Esta condição demonstra que a pastagem elevou a taxa de ciclagem de nutrientes, melhorando a eficiência de aproveitamento dos recursos e o retorno de biomassa ao solo.

A vantagem promovida pelo pasto ocorreu devido o maior teor de nutrientes, bem como a maior taxa de decomposição da liteira deste em relação a serrapilheira. Isto é confirmado pelo fato da ciclagem ser maior em Sol Pleno que nos demais ambientes, sendo que a liberação no SSP 30 e SSP 60 é inferior a Sol Pleno devido a redução da produção do pasto. Bahamond et al. (2012) também mencionam que a qualidade dos detritos, sua decomposição e liberação

de nutrientes, é afetada por efeitos de espécies do sub-bosque e seus aportes de biomassa e nutrientes ao solo.

Silva Neto (2012), observou que o raleamento de floresta secundária para compor sistemas integrados com 57 e 71% de sombreamento reduziu a liberação de nutrientes em 46,9 e 38%, mas não considerou a liberação oriunda do pasto, embora tenha inferido sob sua importância. Neste estudo o raleamento reduziu em média 44,73% o retorno de nutrientes em relação a floresta, mas tal redução foi compensada e superada pela liberação de nutrientes pelo pasto, principalmente em SSP 30, que chegou a ciclar mais nutrientes que a própria floresta.

Entre os dois sistemas integrados verificou-se que o SSP 30 apresentou maior liberação dos nutrientes K, P, Ca, Mg e N que SSP 60 (Tabela 3). Esta resposta esta relacionada ao fato de que em SSP 30 houve maior produção do pasto, e consequentemente de liteira, enquanto que no SSP 60 o elevado índice de sombreamento reduziu o crescimento, o desenvolvimento e a senescência do pasto. Ainda, em SSP 30, houve maior diversidade de espécies arbóreas, que possivelmente contribuiu para a produção de serrapilheira com maior teor de nutrientes (CARDENAS et al., 2008).

Benavides et al., (2009) também relataram redução da produção do pasto em sistema silvipastoril quando o sombreamento atingiu 68%, valor alcançado com 156 árvores ha^{-1}. Neste estudo, o nível de 60% de sombreamento, alcançado com 180 árvores ha^{-1}, também afetou negativamente a produção à pasto. Douglas et al. (2001) reportam nível de sombreamento de 31% com a presença de 25 a 100 árvores ha^{-1} como sendo permissível ao crescimento do pasto. Isto também foi observado neste estudo sob o nível de sombreamento de 30% com 120 árvores ha^{-1}. A recomendação Australiana de densidade arbórea para evitar problema de extinção do pasto e a perda do efeito da ciclagem de nutrientes deste componente é de 100 a 200 árvores ha^{-1} (NEW ZEALAND POPLAR COMMISSION, 1995), embora outros autores citem que este número vá até 400, sendo variável em função do tipo de árvore. No Brasil estas recomendações são inconsistentes ou inexistentes.

A presença de espécies arbóreas de folhas caducas em SSP 30 pode ter contribuído para o desenvolvimento do pasto e a produção de liteira (BENAVIDES et al., 2009). A maior taxa de decomposição da serrapilheira destas espécies em relação a serrapilheira do babaçu, sufoca menos a pastagem e contribui para taxas de liberação de nutrientes mais constantes ao longo do tempo (WEDDERBURN e CARTER, 1999).

Tabela 3. Média mensal (7 ciclos) de liberação de nutrientes pela serrapilheira + liteira do pasto em sistemas silvipastoril de floresta secundária de babaçu e capim Mombaça com 30 e 60% de sombreamento (SSP 30 e SSP 60), em relação a liberação de nutrientes pela serrapilheira na floreta e da liteira do pasto em monocultivo (Sol Pleno).

	Liberação de nutrientes via serrapilheira + liteira do pasto (mg m^{-2} $mês^{-1}$)				
Áreas	K	P	Ca	Mg	N
Sol Pleno	67	47	58	47	89
SSP 30	54	38	83	44	12
SSP 60	30	21	40	21	47
Floresta	40	8	13	27	20

3.3.1.6 Taxas de decomposição

As taxas de decomposição da serrapilheira e da liteira apresentaram ajuste ao modelo exponencial de perda de biomassa, ao considerar-se o tempo de exposição do material e o percentual de material remanescente após a incubação nos locais de estudo (Tabela 4). Logo, com o passar do tempo a decomposição ocorre em proporções cada vez menores, porém nunca cessa (WEDDERBURN e CARTER, 1999). Silva Neto (2012) também observou que a decomposição da serrapilheira de sistemas integrados sob floresta secundária se ajusta satisfatoriamente ao modelo exponencial.

Analisando a taxa de decomposição diária da serrapilheira, entre os sistemas integrados e a floresta, é possível observar que o aumento do nível do raleamento promoveu uma pequena redução da decomposição diária da biomassa (*k*). Na floresta nativa foi observada uma constante de degradação de -0,0016 g g^{-1} dia^{-1}, no SSP 30 este valor foi de -0,0015 g g^{-1} dia^{-1}e em SSP 60 a degradação foi de -0,0014 g g^{-1} dia^{-1} (Tabela 4), contudo, essa redução não foi significativa (DMS = 0,003). Silva Neto (2012) também não verificou efeitos significativos do raleamento de floresta secundária para compor sistemas

integrados sob a constante diária de decomposição. Ele encontrou constantes de decomposição da ordem de 0,0018 a -0,0021 g g-1 dia-^{1}, valores muito próximos ao verificados neste estudo.

Mancilla-Leytón et al., (2013) observaram médias para constante de decomposição de serrapilheira de pinheiro da ordem de 0,0021 g g-^{1} dia-^{1}, valores estes também parecidos aos observados para a decomposição da serrapilheira da floresta de babaçu. Silva et al. (2009) incubando folhas de espécies da zona de transição Amazônia-Cerrado nos períodos seco e chuvoso encontraram taxas de decomposição variando entre -0,0013 e -0,012 g g-1 dia-^{1}. Sanches et al. (2009) observaram taxas de decomposição de -0,003 e -0,0017 g g-1 dia-^{1}. A decomposição destes materiais pode ser considerada baixa, por ser ditada por suas características químicas e físicas, mas estar dentro do intervalo encontrado para espécies destas características (HARMON et al. 2009; PRESCOTT et al. 2010). Wedderburn e Carter (1999) relatam taxas de decomposição da ordem de 0,036 a 0,052 g g-^{1} dia-^{1}.

Por haver uma tendência de redução da constante de degradação com o aumento do raleamento infere-se que maiores níveis de raleamento podem comprometer a ciclagem de nutrientes por parte da serrapilheira. Esta aparente redução pode ser o resultado da diminuição da umidade do solo com aumento do raleamento (dados não apresentados) já que a água do solo é fundamental para a difusão de substratos para os microorganismos (YAHDJIAN et al., 2006). O raleamento também permite a incidência global direta de radiação no solo e isso pode elevar sua temperatura (BENAVIDES et al., 2009) além dos níveis ótimos para ação microbiana. Ainda, tal tendência pode estar relacionada ao raleamento seletivo a favor do babaçu, que reduz o aporte de N ao solo, já que o N possui larga eficiência na decomposição de resíduos em ambientes pobres deste elemento (MANCILLA-LEYTÓN et al., 2013).

A tendência de maior taxa de decomposição na floresta ainda pode estar relacionada ao fato da menor variação climática neste ambiente, já que as árvores evitam o superaquecimento do solo durante o dia e reduzem a ação de ventos frios a noite, mantendo o ambiente à nível de solo mais estável. Alguns autores relatam que a temperatura do solo em sistemas integrados é mais fria durante o dia (até 1,5 ºC) e mais quente durante a noite (2 a 3º) (BENAVIDES et al., 2009).

Mesmo não sendo significativa, a alteração da constante (*k*) alterou o meio tempo de vida da serrapilheira (Tabela 4). Na floresta a meia vida ($t_{0,5}$) foi de 433,21 dias. No SSP 60 a meia vida foi de 462,09 dias e no SSP 30 este tempo foi de 495,10 dias. Isto indica que quanto maior for o grau de perturbação do ambiente natural para implantação de SSPs maior será o grau de alteração das taxas de ciclagem de nutrientes. Ainda, esta tendência de maior decomposição na floresta esta relacionada ao maior aporte de nutrientes neste ambiente, já que Mancilla-Leytón et al., (2013) inferem que o fornecimento de nutrientes acelera as taxas de decomposição.

A constante de degradação da liteira do pasto foi superior a constante da serrapilheira dos ambientes integrados e da floresta (Tabela 4). Em média, os ambientes com o componente arbóreo apresentaram decomposição da serrapilheira de -0,0015 g g^{-1} dia^{-1}, enquanto que a litera do pasto em Sol Pleno apresentou taxa de decomposição de 0,0089 g g^{-1} dia^{-1}. Isto denota que a serrapilheira tem meia vida de aproximadamente 463,34 dias, enquanto a liteira do pasto tem meia vida de 77,88 dias. Bahamond et al., (2012) apresenta dados de taxas de decomposição de serrapilheira e literia pouco semelhantes, mas isto pode ser o resultado de serrapilheira oriunda de florestas temperadas, o que explica a discrepância em relação a este estudo.

Rezende et al. (1999) observaram constante de decomposição de *Brachiaria humidicola* de -0,037, -0,048, -0,071 e 0,097 g g^{-1} dia^{-1} ao longo do tempo. Eles verificaram tempo de meia vida de 9 a 18 dias, mas afirmam que seu dados podem estar superestimados devido a forma de avaliação de decomposição de serrapilheira no solo (serrapilheira retirada das plantas e depositada continuamente, mantendo baixa a relação C:N). Pelo método de decomposição de liteira no *litter bag* as constantes de decomposição da gramínea foram 0,0036 e 0,0042 g g^{-1} dia^{-1} e o tempo de meia foi estimado em 161 a 188 dias, valores mais parecidos com os observados neste estudo.

Esta maior decomposição da liteira esta relacionada principalmente a menor relação C:N e aos menores teores de lignina e celulose em relação a serrapilheira, conforme já mencionado. Bahamond et al. (2013) também relatam que em ambientes mais sombreados há menor taxa de decomposição, tanto de serrapilheira como de liteira (efeitos físicos: ventos; efeitos químicos: radiação). É

esta maior taxa de decomposição da liteira, aliada ao maior teor de nutrientes, que promove a elevação da ciclagem de nutrientes nos sistemas integrados em relação a floresta.

Tabela 4. Equações exponenciais ajustadas aos valores de decomposição de biomassa de serrapilheira em sistemas silvipastoris com 30 e 60% de sombreamento (SSP 30 e SSP 60) e na floreta e decomposição de liteira do pasto em sistema de monocultivo (Sol Pleno) após 8 meses de incubação.

Local	Equação	*k* (g g^{-1} dia^{-1})	$t_{0,5}$ (Período)	$t_{0,5}$ (Dias)	$t_{0,5}$ (meses)	$t_{0,5}$ (Anos)
Sol Pleno	$Y=56,99e^{-0,53P}$	0,0089	0,94	77,88	1,88	0,15
SSP 30	$Y=31,73e^{-0,085P}$	0,0014	5,88	495,10	11,76	0,96
SSP 60	$Y=32,08e^{-0,088P}$	0,0015	6,68	462,09	11,36	0,93
Floresta	$Y=32,51e^{-0,096P}$	0,0016	5,20	433,21	10,41	0,85

P.: perído. (*k*): constante de decomposição. $t_{0,5:}$ tempo necessário para decompor metade (50%) da biomassa.

Na Figura 2 é apresentado o ajuste dos dados de decomposição da serrapilheira, da liteira e da liberação de nutrientes ao modelo exponencial negativo em função da decomposição das biomassas em cada sistema avaliado ao longo do período experimental (4 ciclos: 240 dias).

A Figura 2a apresenta a decomposição da liteira dos pastos nos sistemas Sol Pleno, SSP 30 e SSP 60, onde mais de 80% do material incubado (30 g) foi decomposto. Pode-se observar que a biomassa remanescente ao final de cada ciclo de avaliação, para os três ambientes, é semelhante, indicando que a decomposição da liteira nos ambientes integrados e no monocultivo é análoga e que o componente arbóreo não comprometeu a decomposição da liteira, embora possivelmente haja imobilização de N pela serrapilheira, que possui elevada relação C:N. Alguns estudos apontam que a liteira em pastagem a céu aberto pode apresentar maior taxa de decomposição devido a ação dos ventos, mas isso não foi observado neste estudo e o motivo pode ser o efeito de proteção da liteira pelo saco de naylon (BENAVIDES et al., 2009). Rezende et al. (1999) informam que os sacos de nylon podem mascarar a real decomposição de materiais incubados.

Embora não haja diferenças na decomposição da liteira nos três ambientes é possível visualizar que a decomposição em Sol Pleno (Figura 2a) é mais acentuada, estando de acordo com os informes de Bahamond et al. (2012) que

afirmam haver maior decomposição de liteira em locais sob maior incidência de radiação.

As Figuras 2b, 2c e 2d apresentam as decomposições da serrapilheira na floresta, no SSP 30 e no SSP 60, respectivamente. É possível observar que a proporção e a magnitude da decomposição a cada ciclo, nestes três sistemas, foi muito parecida. Em média 60% da biomassa inicial incubada (30 g) foi decomposta em 240 dias. Isto revela que o raleamento da floresta aos níveis de sombreamento alto (60%) e moderado (30%) não prejudicou a ciclagem de nutrientes quanto de decomposição da serrapilhera. Silva Neto (2012) também não obsevou reduções das taxa de decomposição de serrapilheira por efeito de raleamentos para obter níveis de sombreamento de 57 e 71%. Ele obervou a decomposição de 32,21% até o período de 240 dias. Silva et al. (2009) observaram decomposição de 52,10% após 12 meses de exposição do material na mesma região de transição. Já Freire et al., (2010) tiveram decomposição de apenas 30% do material incubado por 256 dias. As discrepâncias estão associadas as condições ambientais (LUIZÃO, 2007) e o tipo de material.

Ainda, pode-se constatar que a decomposição da liteira, ao longo do período experimental, (80%) foi superior a decomposição da serrapilheira (60%). A maior facilidade de secagem e reumedecimento da liteira em relação a serrapilheira pode ser um outro fator que acelera sua decomposição (BENAVIDES et al., 2009).

A Figura 2e apresenta a liberação média dos nutrientes K, P, Ca, Mg e N pela serrapilheira + liteira em função das taxas de decomposição ao longo dos períodos experimentais. É evidente que a maior quantidade de nutrientes mineralizados ocorreu no início da incubação (1º período: 0 a 60 dias), quando há maior relação nutrientes:carbono e maior quantidade de compostos lábeis, que facilitam a atividade decompositora, sendo o N, o K e o P os mais liberados neste período por comporem compostos químicos pouco estáveis (proteínas, vitaminas, membranas). Ainda, a maior decomposição no inicio do ensaio pode estar relacionada ao fato da relação N:P ser inferior a 15, o que facilita a ação decompositora (BAHAMOND et al., 2012; BERG e LASKOWSKI, 1997);

Avaliando a liberação de nutrientes de serrapilheira e liteira Bahamond et al. (2012) também observaram que os elemento K, N e P foram rapidamente

liberados, sendo que a decomposição e a liberação dos nutrientes ocorre principalmente nos primeiros 60 dias. Estes autores ainda verificaram as menores taxas de decomposição e liberação de nutrientes nos períodos de 180 a 330 dias, estando de acordo ao observado neste estudo. Rezende (1999) reporta que a serrapilheira possui duas frações distintamente degradáveis. A primeira é a mais ativa, e é decomposta rapidamente (k = 0,15 a 0,30 g g^{-1} dia^{-1}), a segunda é racalcitrante de decomposição demorada (k = 0,0006 a 0,00031 g g^{-1} dia^{-1}).

Mancilla-Leytón et al. (2013) e Bahamond et al (2012), avaliando a decomposição de agulhas de pinheiros, também verificaram que a maior taxa de decomposição ocorre no início do período de incubação (de 60 até 120 dias). A discrepância numérica entre estes estudos e o presente ensaio podem estar relacionada à diferenças nos materiais incubados, mas a tendência geral é semelhante.

O Ca foi o elemento menos mineralizado, possivelmente por fazer parte da parede celular vegetal. Bahamond et al. (2012) relata que a mineralização de Ca pode ocorrer apenas após 180 dias de incubação. Wedderburn e Carter (1999) relata que o Ca pode ter taxa de liberação parecida com a de compostos fenólicos. De modo geral, o ajuste ao modelo de mineralização dos nutrientes N, P e Ca deste estudo assemelham-se aos observados por Bahamond et al. (2012).

Reduções da decomposição a partir de 60 dias de incubação também pode ser o resultado do início do período seco (julho a outubro – Tabela 1). Resende et al. (1999) encontrou que períodos secos inibem a decomposição de biomassa. Embora o efeito do ambiente tenha importância na ação decompositora é possível que neste estudo tal magnitude tenha sido minimizada, haja vista os teores de umidade presente nos sistemas integrados ao longo de todo o ano (dados não apresentados), sendo que as principais modificações na taxa de decomposição tenha sido de caráter químico do material incubado. Ainda, Wedderburn e Carter (1999) relatam que a comunidade microbiana colonizadora da biomassa incubada sofre estresse ao longo do tempo em função do empobrecimento químico do material, sendo substituída por microorgansmos tolerantes a serrapilheira com recursos químicos esgotados, mas isso pode reduzir a taxa de decomposição.

Neste 1º período verificaram-se liberações de 62,5% para K, 66,6% para N, 68% para P e 30% para Ca e Mg (Figura 2e). Nos demais períodos a liberação

dos nutrientes foi muito pequena (3º período) ou mesmo nula (2º período), porque embora houvesse a decomposição da biomassa (perda de C), a imobilização de nutrientes pelos microorganismos decompositores na própria biomassa remanescente incubada elevava ou mantinha o teor dos nutrientes (BAHAMOND et al., 2012).

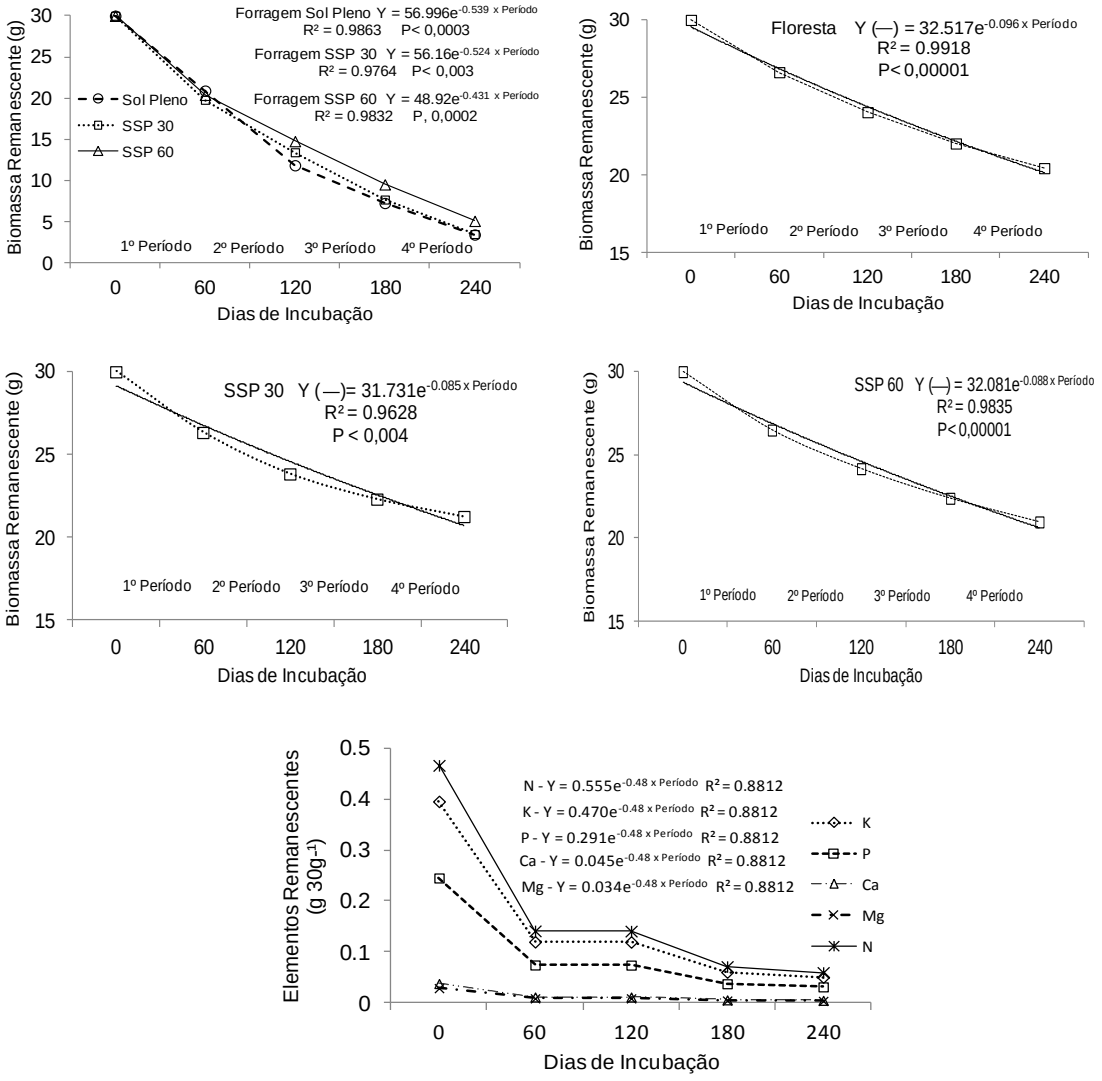


Figura 2. Biomassa remanescente (base na MS) de serrapilheira e liteira do pasto e liberação de nutrientes pela serrapilheira + liteira em sistemas silvipastoris com 30 e 60% de sombreamento (SSP 30 e SSP 60), na floresta nativa e em pasto a Sol Pleno.

Mancilla-Leytón et al. (2013) relatam que nutrientes podem ser importados para a biomassa por intermédio de microorganismos, e isso mantém ou eleva o teor de nutrientes na biomassa. Eles constataram redução dos teores de

elementos (ex.: N) até 8 meses de incubação, sendo que a partir deste período verificaram elevação dos teores de nutrientes na biomassa incubada. A não constatação da elevação dos teores de N, por exemplo, neste ensaio, podem estar relacionadas ao reduzido tempo de incubação bem como as deficiências de N nos ambientes estudados. Wedderburn e Carter (1999) também evidenciam a redução da liberação e dos teores de nutrientes na serrapilheira ao longo do tempo, mas citam que o acúmulo também pode ocorrer, e isso depende do tipo de árvore e do tempo de incubação.

3.3.1.7 Análises multivariadas

Na análise multivariada de agrupamentos (AA) foram agrupados os pontos individualizados pertencentes as áreas de SSP 60, SSP 30, floresta e Sol Pleno, pelo seus valores médios (7 ciclos), em função das variáveis da produção de serrapilheira, perdas de forragem, taxa de decomposição da serrapilheira e da literia e liberação dos nutrientes K, P, Ca, Mg e N por estes materiais. O dendograma obtido na AA (Figura 3) apresenta no eixo vertical a distância euclidiana simples, variando de 0 a 6000, e no eixo horizontal os pontos, formando os grupos homogêneos. Quanto menor a distância ente dois pontos maior foi o grau de similaridade.

A formação dos grupos dependeu da similaridade entre as médias dos pontos considerando todas as variáveis dos ciclos. Foi observado que as médias dos pontos levantados na área a Sol Pleno (monocultivo), constituíram um grupo distinto. Os pontos da área SSP 30, ficaram mais a esquerda do gráfico, próximos aos pontos da área de floresta nativa, enquanto os pontos da área SSP 60, distribuíram-se na parte mais central. Apesar desta sugestiva separação de grupos entre as áreas SSP 60, SSP 30 e floresta não houve formação de grupos distintos entre estes três ambientes, haja vista que para a obtenção de dissimilaridade é necessário uma distancia acima de 3000 (linha Fenon – traçada onde ocorreu o maior salto de dissimilaridade). A similaridade entre estas áreas é caracterizada principalmente pela semelhança entre a média dos pontos da área SSP 30 e floresta e SSP 30 e SSP 60 (Figura 3).

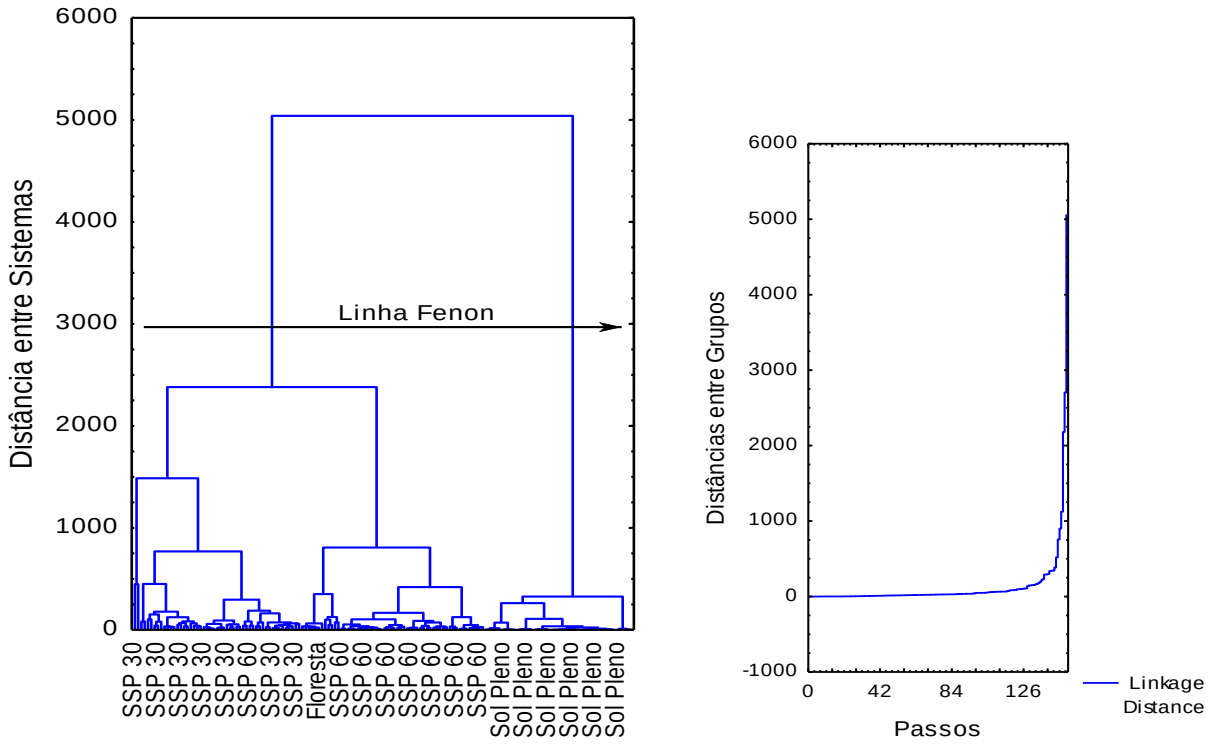


Figura 3. Dendograma de sistemas de manejo construído por características de ciclagem de nutrientes e formado pelo agrupamento de médias de pontos similares das áreas de SSP 60, SSP 30 e Sol Pleno. Pontos SP (retângulo vermelho) formam um grupo distinto dos pontos 30 e 60 (retângulo verde), que formam um único grupo.

Segundo estes resultados o raleamento trouxe pouca alteração aos ambientes SSP 30 e SSP 60 em relação a floresta, entretanto o componente arbóreo promove drástica distinção entre sistemas integrados e monocultivo quanto a ciclagem de nutrientes.

Os dados utilizados na AA foram empregados numa análise fatorial (AF) para identificar elementos que serviram para a formação dos distintos grupos e das características que possuem maior importância na formação destes grupos (Figura 4). Apenas três fatores foram suficientes para explicar a formação dos agrupamentos (Tabela 5). Foi observada a formação de um primeiro fator, que é composto principalmente pelo acúmulo de serrapilheira e literia. Devido aos maiores teores de K, Ca e Mg nestes materiais, os acúmulos destes nutrientes também compuseram o primeiro fator (Tabela 6). A degradação da serrapilheira também compôs este fator, mas, de modo geral o acúmulo de biomassa da serrapilheira foi o principal componente. Ele explicou 51,50% da variância.

Um segundo fator (Tabela 5), de menor relevância na formação dos grupos, foi composto pela liberação de nutrientes, evidenciando os efeitos associativos da deposição, decomposição de serrapilheira e liteira e do teor de nutrientes nestes materiais (Figura 4). Ele explicou 15,46% da variância. As características de liberação de K e N da serrapilheira e liberação de P, Mg e N pela serrapilheira + liteira do pasto foram as variáveis da ciclagem de nutrientes mais expressivas na formação deste segundo fator de distinção entre grupos (Tabela 6). Um terceiro fator, composto pela degradação da liteira do pasto, também trouxe contribuição na diferenciação de grupos, embora sua significância seja menor em relação aos demais fatores. Este fator explicou 11,36% da variância.

Estes resultados evidenciam que a ciclagem de nutrientes ocorre de forma distinta nos ambientes com a presença de árvores e sob monocultivo. A principal característica que distingue a formação dos grupos integrados e o sistema monocultivo é a deposição de serrapilheira, que existe somente nas áreas integradas e na floresta, além da liberação de K e N da serrapilheira, que são os elementos mais retornado ao solo pelo componente arbóreo (Tabela 2).

A deposição de biomassa da liteira, e a liberação dos nutrientes P, K, Mg e N nas áreas integradas e em Sol Pleno também são distintas, sendo maior sob monocultivo (Tabela 2). Tal diferenciação na liberação dos nutrientes supracitados, oriundos da liteira do pasto, ocorre entre SSPs e Sol pleno principalmente por causa de distinções na deposição de biomassa e não necessariamente na decomposição deste material.

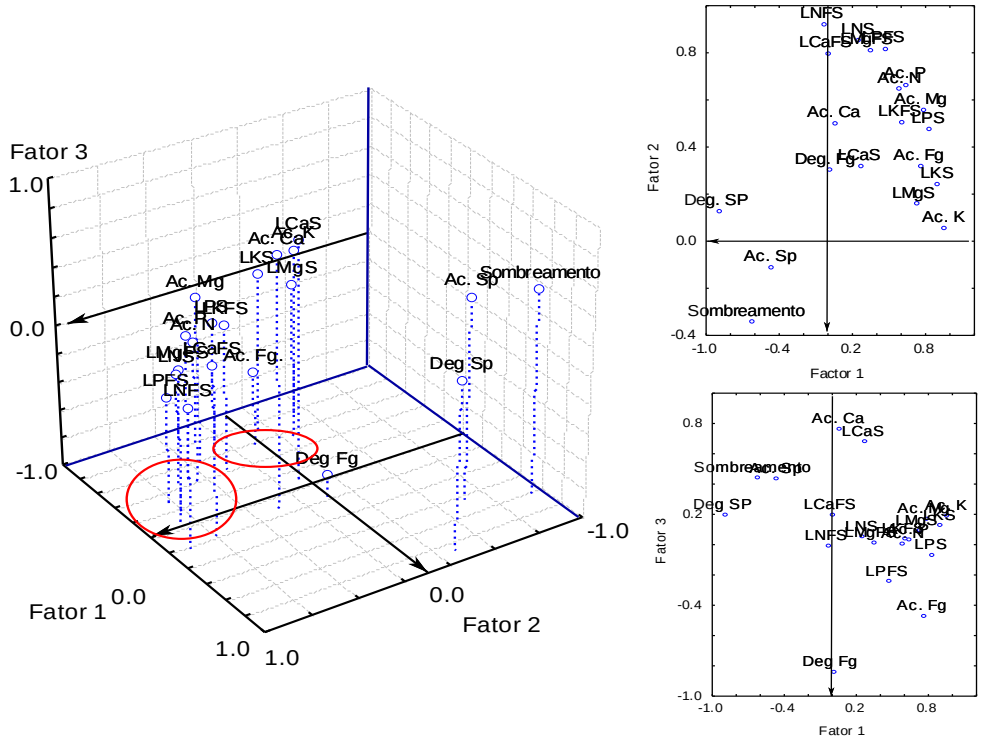


Figura 4. Formação de fatores que influenciam na constituição de grupos distintos da AA e composição de cada fator obtido pelo método de análise fatorial. Características mais próximas do eixo do fator e mais distante da origem contribuem mais para sua formação. Ac. Sp: acúmulo de serrapilheira; Ac. Fg: acúmulo de forragem depositada no solo; Ac K: acúmulo de K; Ac P: acúmulo de P; Ac Ca: acúmulo de Ca; Ac Mg: acúmulo de Mg; Ac N: acúmulo de N; Deg Sp: degradação da serrapilheira; Deg Fg: degradação de forragem; LKS: liberação de K pela serrapilheira; LPS: liberação de P pela serrapilheira; LCaS: liberação de Ca pela serrapilheira; LMgS: liberação de Mg pela serrapilheira; LNS: liberação de N pela serrapilheira; LKFS: liberação de K pela forragem e serrapilheira; LPFS: liberação de P pela foragem e serrapilheira; LCaFS: liberação de Ca pela forragem e serrapilheira; LMgFS: liberação de Mg pela forragem e serrapilheira; LNFS: liberação de N pela forragem e serrapilheira.

As semelhanças de características da ciclagem de nutrientes entre os sistemas integrados e a floresta significa que o retorno de nutrientes nos SSPs não foi drasticamente afetado pelo raleamento. Embora a retirada de árvores do SSP 30 tenha sido maior que em SSP 60 a deposição de serrapilheira foi igual entre os dois ambientes e similar a floresta nativa. Isto pode ter ocorrido devido a presença de árvores semicaducifólias (espécies suprimidas) na área SSP 30 (BENAVIDES et al., 2009). Assim, embora SSP 30 tenha menor número de palmeira de babaçu que SSP 60, a presença de *Physocalymma sacaberrimum*, que apresenta intensa renovação de tecidos foliares favoreceu a produção de

serrapilheira. Em contrapartida, o maior número de babaçus em SSP 60 e na floresta fez reduzir a deposição de serrapilheira em função da longevidade das folhas. Wedderburn e Carter (1999) relata que há diferenças na deposição e decomposição da serrapilheira de espécies decíduas e perenes em função da composição química principalmente.

Tabela 5. Resumo da análise fatorial e do número de fatores que explicam mais de 70% da variância usada na distinção de grupos heterogêneos entre os SSPs de 30 e 60% de sombreamento, o sistema a Sol Pleno e a floresta nativa..

Fatores	Autovalor	% da variância explicada	Variância explicada acumulada
1º	10.30048	51.50239	51.50239
2º	3.09267	15.46333	66.96572
3º	2.27270	11.36349	78.32921

Tabela 6. Correlação entre as variáveis originais e os principais fatores que influenciam na formação de grupos distintos responsáveis pela diferenciação das áreas SSP 60, SSP 30 e Sol Pleno.

Fatores	1º	2º	3º
Variáveis			
Ac. Serrap.	**0.760650**	-0.112473	0.131866
Ac. Forrag.	**-0.765474**	0.315268	-0.472022
Ac. Nutr. K	**0.956108**	0.055235	0.186534
Ac. Nutr. P	0.637917	0.663593	0.028488
Ac. Nutr. Ca	**0.760640**	0.500029	0.640739
Ac. Nutr. Mg	**0.781796**	0.555483	0.166762
Ac. Nutr. N	0.591042	0.645929	0.003265
Degrad. Serrap.	**-0.890759**	0.124388	0.192987
Degrad. Forrag.	0.013110	0.300492	**-0.840102**
Lib. Nutri. Serrap. K	**0.902791**	0.240800	0.125188
Lib. Nutri. Serrap. P	**0.830314**	0.473718	-0.071291
Lib. Nutri. Serrap. Ca	0.274598	0.318005	0.677057
Lib. Nutri. Serrap. Mg	**0.726146**	0.157415	0.092310
Lib. Nutri. Serrap. N	0.252918	**0.852030**	0.052865
Lib. Nutri. Serrap. + Forrag. K	0.607082	0.502096	0.035782
Lib. Nutri. Serrap. + Forrag. P	0.471322	**0.816054**	-0.243838
Lib. Nutri. Serrap. + Forrag. Ca	0.010087	**0.796410**	0.195236
Lib. Nutri. Serrap. + Forrag. Mg	0.352737	**0.808663**	0.009707
Lib. Nutri. Serrap. + Forrag. N	-0.033099	**0.919586**	-0.006554
Sombreamento	-0.617200	-0.344274	0.440841

Números em negrito destacam as variáveis que apresentam maior correlação (>0,70) com a formação dos fatores.

Diante disto infere-se que a maior diversidade florística em SSP 30 contribuiu para a manutenção da ciclagem de nutrientes (CARDENAS et al., 2008), embora houvesse menor número de árvores, sendo a manutenção de

poucas espécies arbóreas em sistemas integrados raleados prejudicial a ciclagem. Logo, SSPs formados por raleamento de florestas secundárias deve prezar pela manutenção da diversidade arbórea em função do nível de sombreamento. Wedderburn e Carter (1999) recomenda a adoção de sistemas integrados com a presença de espécies arbóreas decíduas e perenes para melhorar a ciclagem total de nutrientes.

A análise de agrupamento da matriz pontos-variáveis em função dos ciclos evidenciou a formação de apenas três grupos distintos (Figura 5). Os ciclos: 1º, 4º, 5º, 6º e 7º, correspondentes aos meses de maio, outubro, novembro e dezembro de 2012 e janeiro de 2013 formaram um único grupo, distinto do 2º e do 3º ciclo, correspondente a mês de junho e setembro de 2012 respectivamente, que formaram dois outros grupos isolados. O número de fatores que serviram para distinguir estes ciclos está apresentado na Tabela 7. As variáveis de maior relevância na formação dos fatores de distinção dos ciclos são apresentadas na Tabela 8.

A similaridade entre os ciclos de maio, outubro, novembro e dezembro de 2012, e janeiro de 2013, pode ter acontecido devido a ciclagem de nutrientes ocorrer em mesmas proporções, dentro de cada ambiente, na estação chuvosa. Logo, estes períodos possivelmente foram homogêneos devido a ocorrência de chuvas nestes ciclos (Tabela 1), embora em menor intensidade no mês de outubro. Estes fenômenos, aliados ao fato de que nos SSPs ocorre um maior armazenamento de água no solo (OLIVEIRA et al., 2013) devido a menor demanda evaporativa das plantas em função do ambiente ameno (SOUSA et al., 2007), pode ter permitido que a atividade microbiana decompositora fosse parecida nos meses sob a estação das águas, mas diferente das estações de transição, com os períodos secos, promovendo alterações na liberação de nutrientes. Este fato foi bem evidente na área a Sol Pleno, onde a transição seca/chuvas promoveu as menores taxas de liberação de K, P Ca, Mg e N (Tabela 2) em relação aos demais ciclos.

O 2º e 3º ciclo (junho e setembro respectivamente), referente as estações de transição chuvas/seca e seca/chuvas, formaram os outros grupos distintos. O 2º ciclo compôs um grupo diferente, possivelmente pelo fato de que nesta época ocorreu uma maior deposição de serrapilheira nas áreas SSP 30, SSP 60 e

floresta (Tabela 2). Este fato pode ser o resultado dos efeitos de uma floresta secundária semicaducifólia (BENAVIDES et al., 2009). Como a acúmulo de serrapilheira foi diferente entre estes dois períodos (chuvas e períodos de transições) a deposição de nutrientes também o foi.

No 3º ciclo (setembro), referente a transição seca/chuvas, dentre os fatores que serviram para distinção dos grupos têm-se as perdas de forragem como provável causa de diferenciação deste ciclo em relação aos demais, já que neste ciclo houve as menores perdas de forragem (Tabela 2). Este fato pode estar relacionado a diminuição das taxas metabólicas do pasto em função da redução da disponibilidade de água, o que num primeiro instante (julho) causou aumento da senescência, mas posteriormente promoveu uma estagnação no crescimento e desenvolvimento do pasto, principalmente em Sol Pleno, havendo redução das taxas de senescência. Ainda, em agosto, foi realizado um corte de uniformização do pasto (50 cm de altura), que pode ter contribuído para a latência das plantas. Em setembro, iniciaram-se algumas chuvas (Tabela 1) e isso permitiu o inicio do crescimento do pasto, havendo pouca perda de tecidos vegetais neste mês. Nos ciclos seguintes (outubro e novembro) as perdas de forragem tornaram a aumentar, possivelmente em função do maior crescimento e desenvolvimento dos pastos.

Variações sazonais da deposição de liteira e serrapilheira, avaliadas no Brasil, são mencionadas por Rezende et al. (1999). Estes autores também reportam que uma maior deposição de detritos das árvores ocorre nos meses mais quentes (julho a setembro) enquanto que nos meses mais frescos (a partir de dezembro) a deposição é reduzida. Eles afirmam que períodos secos elevam a deposição de serrapilheira. Luizão e Schubart (1987) afirmam que a deposição de serapilheira em floresta tropical úmida é sazonal, tendo maior queda de liteira na estação seca do ano. Silva et al. (2007), Sanches e al. (2008), Sanches et al. (2009) e Silva et al. (2009) também reportam que em floresta de transição Amazônia-Cerrado a deposição de serrapilheira é sazonal.

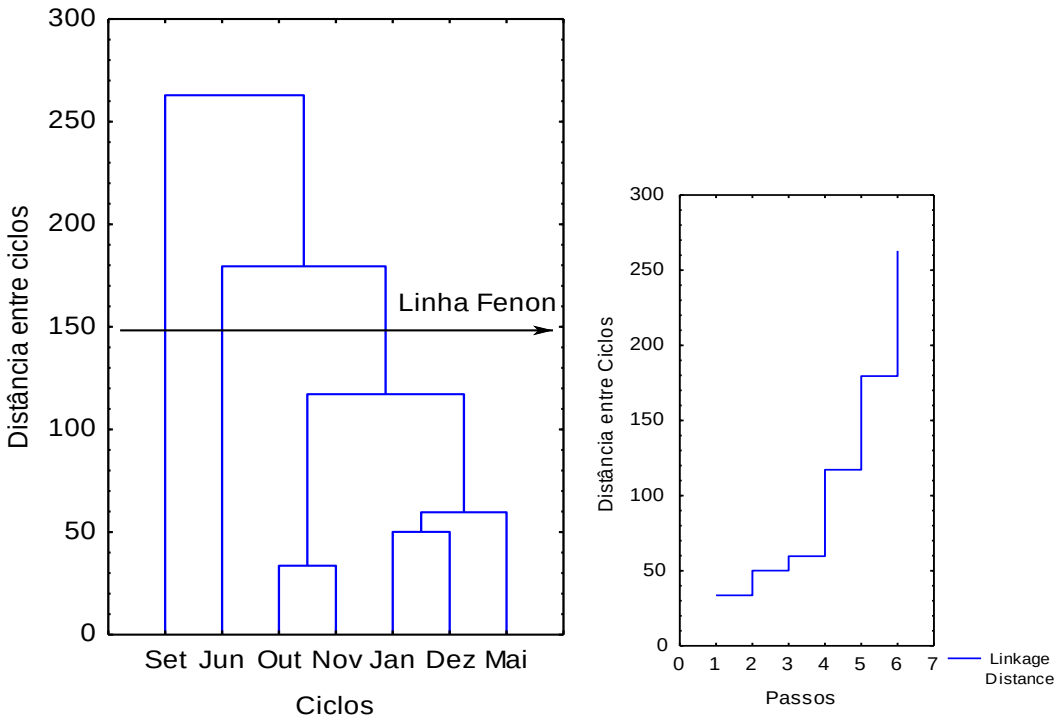


Figura 5. Dendograma de agrupamento de sete ciclos de avaliação de ciclagem de nutrientes em função de características de deposição de serrapilhiera em SSP com 30 e 60% de sombreamento, perdas de forragem em Sol Pleno e SSP com 30 e 60% de sombreamento, decomposição de serrapilheira e liteira do pasto e liberação dos nutrientes K, P, Ca, Mg e N da serrapilheira e do pasto. Ciclos mensais correspondente aos meses de maio, junho, setembro, outubro, novembro e dezembro de 2012 e janeiro de 2013.

Tabela 7. Resumo da análise fatorial e do número de fatores que explicam mais de 70% da variância usada na distinção de ciclos heterogêneos entre os SSPs de 30 e 60% de sombreamento, o sistema a Sol Pleno e a floresta nativa.

Fatores	Autovalor	% da variância explicada	Variância explicada acumulada
1º	8.707336	45.82808	45.82808
2º	6.874270	36.18037	82.00846

A análise de componentes principais (ACP) foi utilizada para promover uma redução da dimensionalidade dos efeitos da variabilidade, de modo a sintetizar as principais características e as variações da ciclagem de nutrientes que ocorrem entre as áreas de SSP 60, SSP 30, floresta e Sol Pleno. Isto também serviu para elencar as variáveis que mais foram afetas pelo raleamento da floresta para obtenção nos níveis de sombreamento de 30 e 60%. Os autovetores que compuseram os componentes principais foram determinados pelos autovalores

com maior correlação com a componente, sendo que os autovalores foram originados dos valores dos atributos reais (Figura 6).

Tabela 8. Correlação entre as variáveis originais e os principais fatores que influenciam na formação de grupos de ciclos distintos responsáveis pela diferenciação dos períodos de avaliação (meses).

Fatores	1º	2º
Variáveis		
Ac. Serrap.	-0.500101	**-0.847314**
Ac. Forrag.	0.030493	**0.983609**
Ac. Nutr. K	-0.481761	0.650702
Ac. Nutr. P	**-0.858006**	0.186170
Ac. Nutr. Ca	-0.371845	**-0.867970**
Ac. Nutr. Mg	**-0.780174**	0.350009
Ac. Nutr. N	**-0.826910**	-0.282551
Degrad. Serrap.	-0.592359	-0.752744
Degrad. Forrag.	-0.580712	-0.758271
Lib. Nutri. Serrap. K	**-0.936326**	0.023553
Lib. Nutri. Serrap. P	**-0.951066**	0.180826
Lib. Nutri. Serrap. Ca	-0.482909	**-0.737641**
Lib. Nutri. Serrap. Mg	-0.496859	0.522830
Lib. Nutri. Serrap. N	**-0.832342**	-0.304289
Lib. Nutri. Serrap. + Forrag. K	**-0.703431**	0.552254
Lib. Nutri. Serrap. + Forrag. P	-0.531894	**0.825247**
Lib. Nutri. Serrap. + Forrag. Ca	**-0.738100**	-0.194082
Lib. Nutri. Serrap. + Forrag. Mg	-0.477095	**0.769076**
Lib. Nutri. Serrap. + Forrag. N	**-0.930035**	0.273830

Números em negrito destacam as variáveis que apresentam maior correlação (>0,70) com a formação dos fatores. Ac. Serrap.: acúmulo de serrapilheira; Ac. Forrag.: acúmulo de forragem; Ac. Nutr.: acúmulo de nutriente; Degrad. Serrap.: degradação de serrapilheira; Degrad. Forrag.: degradação de liteira da forrageira; Lib. Nutri. Serrap.: liberação de nutrientes da serrapilheira; Lib. Nutri. Serrap. + Forrag.: liberação de nutrientes da serrapilheira e da forragem somados.

Três componentes principais foram identificadas (Tabela 9): aquelas cujo os autovalores eram iguais ou maior que 1 ou quando explicavam, de forma acumulada, mais de 70% da variabilidade total dos dados dos três sistemas. Desta forma, a variabilidade das áreas passou a ser explicada por três componentes, que representam o conjunto original de dados, ao invés de 19 características, com perda de explicação de apenas 21,67%. Silva Neto (2012) observou a formação de duas componentes principais para explicar a ciclagem de

nutrientes em sistemas integrados e naturais. Ele verificou perda de explicação, em função da redução, de apenas 16,15%.

A primeira componente principal explicou 51,50% da variação total dos dados (Tabela 9). Ela foi composta (correlacionada) pelos atributos: acúmulo de serrapilheira, perdas de forragem, acúmulos dos nutrientes, K, Ca e Mg, degradação da serrapilheira e liberação dos elementos K, P, Mg e N pela serrapilheira. (Tabela 10). Estes atributos identificam esta primeira e mais importante componente, com maior peso na classificação, como sendo uma variável de deposição de biomassa de serrapilheira e de retorno de nutrientes ao solo via serrapilheira. Consequentemente o aspecto que mais distingue os sistemas com componente arbóreo e o monocultivo é a deposição de serrapilheira. Silva Neto (2012) observou a formação de primeira componente principal explicando, em média, 68,91% da variância total. Ele verificou que as características que a compuseram foram a deposição de serrapilheira e o acúmulo de nutrientes e a classificou como uma variável de retorno de biomassa ao solo.

Os principais elementos existentes na serrapilheira são K, Ca e Mg e os mais liberado em sua decomposição são K, Mg e N. Contudo, a concentração e a liberação de nutrientes pela serrapilheira é inferior a observada pela liteira do pasto. Benavides, Douglas e Osoro et al. (2009) mencionam que a ciclagem de N é superior em ambientes integrados. Maiores liberações de K são reportadas por Silva Neto (2012) por ser, este elemento, altamente solúvel e susceptível a lavagem e lixiviação (LUIZÃO, 2007).

As liberações dos nutrientes apresentam-se em condições opostas ao sombreamento e acúmulo de serrapilheira, evidenciando que nas áreas integradas a limitação do desenvolvimento do pasto reduz a ciclagem total de nutrientes. O acúmulo de serrapilhiera correlaciona-se com o sombreamento, então, quanto maior número de árvore maior é o acúmulo de biomassa, mas não necessariamento é a ciclagem de nutrientes. Estas duas variáveis são os atributos da ciclagem de nutrientes que mais sofrem efeito da retirada de árvores para implantação de pastagens em monocultivo e que servem para distinguir os ambientes investigados (Tabela 10).

A segunda componente principal explicou apenas 15,46% da variação total dos dados (Tabela 9). Ela foi composta (correlacionada) pelas liberações de Ca, Mg e N da serrapilheira + liteira da forragem (Tabela 10). Isto implica, que nos sistemas integrados, a decomposição da liteira do pasto fornece principalmente Ca, Mg e N, que se somam aos montantes liberados pela serrapilheira. Desta forma, ao se considerar os aportes de serrapilheira + forragem percebe-se que há maior ciclagem de Ca, Mg e N nos sistemas integrados que no sistema em monocultivo e na própria floresta nativa. Silva Neto (2012) observou que uma segunda componente principal da ciclagem de nutrientes em áreas integradas explicava 14,97% da variação total.

A relação contrária da liberação de Ca, Mg e N (Figura 6) com acúmulo de serrapilheira e sombremento, sugere que a contribuição do aporte de elementos da liteira do pasto torna-se menor a medida que se aumenta o número de árvores, e consequentemente o sombreamento. Isto ocorre porque quanto mais sombreado o sistema menores são as taxas de crescimento, desenvolvimento e senescência do capim, reduzindo o total de liteira depositada, mesmo que tal material possua maiores teores de nutrientes. As variáveis relacionadas a decomposição e ciclagem de nutrientes da liteira do pasto são menos afetadas pelo raleamento, já que a degradação deste material é similar em ambientes integrados e solteiros, mas a produção é influenciada pelos sistemas integrados. Benavides, Douglas e Osoro (2009) citam que quanto maior o sombreamento em um sistema silvipastoril menor é a produção do pasto, consequentemente menor será a contribuição de sua liteira para o total de nutrientes ciclados (REZENDE et al., 1999). Estes autores descrevem que sombreamentos acima de 85% promovem a extinção da pasto, mas que esse processo já pode se iniciar com sombreamento de 67%. Neste estudo pode-se observa que o nível de 60% de sombra já afetou severamente a produção do pasto. Os autores supracitados também fazem referência que pastos sob floresta com espécies caducas são mais produtivos devido a maior transmissão de luz durante períodos do ano. Isso também foi observado, em parte, no SSP 30.

A terceira componente principal explicou apenas 11,36% da variação total (Tabela 9). Ela foi composta (correlacionada) pela decomposição da liteira da forragem (Tabela 10). Por compor o 3º fator, e pouco contribuir para a explicação

da distinção dos ambientes, infere-se que a decomposição da liteira tenha sido pouco influenciada pela presença do componente arbóreo em relação ao monocultivo. Possivelmente esta variável só tenha servido para compor a 3º componente principal porque as perdas de forragem também são um bom indicador quantitativo de diferenças entre as áreas integradas e o monocultivo, ocorrendo em maior grau na área Sol pleno, em relação as áreas integradas, logo há maior decomposição total de biomassa de forragem em Sol Pleno do que em SSP 30 e SSP 60, já que as taxas de decomposição da liteira são semelhantes

Tabela 9. Resumo dos valores dos componentes principais e porcentagem da variação por eles explicada.

Componentes	Autovalor	% da variância explicada	Variância explicada acumulada
1º	10.30048	51.50239	51.50239
2º	3.09267	15.46333	66.96572
3º	2.27270	11.36349	78.32921

Tabela 10. Correlação entre as variáveis originais e os componentes principais relevantes na distinção dos ambientes SSP 30, SSP 60, Floresta e Sol Pleno.

	Componentes		
Variáveis	1º	2º	3º
Ac. Serrap.	**0.760650**	0.112473	-0.231866
Ac. Forrag.	**0.765474**	0.315268	-0.472022
Ac. Nutr. K	**0.956108**	0.055235	0.186534
Ac. Nutr. P	0.637917	0.663593	0.028488
Ac. Nutr. Ca	**0.764064**	0.500029	0.640739
Ac. Nutr. Mg	**0.781796**	0.555483	0.166762
Ac. Nutr. N	0.591042	0.645929	0.003265
Degrad. Serrap.	**0.890759**	-0.124388	-0.192987
Degrad. Forrag.	-0.013110	-0.300492	**0.840102**
Lib. Nutri. Serrap. K	**0.902791**	0.240800	0.125188
Lib. Nutri. Serrap. P	**0.830314**	0.473718	-0.071291
Lib. Nutri. Serrap. Ca	0.274598	0.318005	0.677057
Lib. Nutri. Serrap. Mg	**0.726146**	0.157415	0.092310
Lib. Nutri. Serrap. N	**0.852918**	0.252030	0.052865
Lib. Nutri. Serrap. + Forrag. K	0.607082	0.502096	0.035782
Lib. Nutri. Serrap. + Forrag. P	0.471322	**0.816054**	-0.243838
Lib. Nutri. Serrap. + Forrag. Ca	0.010087	**0.796410**	0.195236
Lib. Nutri. Serrap. + Forrag. Mg	0.352737	**0.808663**	0.009707
Lib. Nutri. Serrap. + Forrag. N	-0.033099	**0.919586**	-0.006554

Números em negrito destacam as variáveis que apresentam maior correlação (>0,70) com a formação de componentes principais. Ac. Serrap.: acúmulo de serrapilheira; Ac. Forrag.: acúmulo de forragem; Ac. Nutr.: acúmulo de nutriente; Degrad. Serrap.: degradação de serrapilheira; Degrad. Forrag.: degradação de liteira da forrageira; Lib. Nutri. Serrap.: liberação de nutrientes da

serrapilheira; Lib. Nutri. Serrap. + Forrag.: liberação de nutrientes da serrapilheira e da forragem somados.

Diante desta síntese, fica evidente que a primeira componente principal representa a ciclagem de nutrientes via serrapilheira. A segunda componente demonstra que a liteira do pasto contribui com a ciclagem de nutrientes realizada pela floresta no ambiente integrado. Já a terceira componente revela que o total de liteira decomposta nos ambientes integrados e solteiro é distinto em função da quantidade de liteira depositada, embora a taxa de decomposição seja a mesma. Estes são os atributos que mais se distinguem nos ambientes estudados em função dos dados analisados e mais são alterados pela presença do componente arbóreo.

A ACP permitiu representar a distribuição da nuvem de variáveis envolvidas na ciclagem de nutrientes. Na Figura 6 pode-se observar a relação das características reais com os componentes gerados e o grau de associação. O primeiro plano principal (1º vs. 2º componente principal) evidencia a formação da 1º componente, por variáveis de caráter relacionados a serrapilheira. Este mesmo plano salienta a formação da 2º componente, composta por variáveis relacionadas a ciclagem de nutrientes oriundos da liteira do pasto. O terceiro plano principal (3º vs. 2º componente principal) demonstra os efeitos dos ambientes sob a decomposição da liteira.

A ACP ainda foi adotada tomando-se o efeito de sombreamento, que se refere a intensidade do raleamento da floresta para compor os SSP 30 e SSP 60 sob as condições da ciclagem de nutrientes, como uma variável suplementar, de forma que pôde-se observar quais características da ciclagem foram mais influenciadas pelo raleamento (Figura 6). O resultado demonstrou que o raleamento da floresta secundária afetou principalmente a deposição e a decomposição da serrapilheira, Bahamond et al. (2012) também reportam que a radiação transmitida é responsável por explicar parte da variação (49 a 61%) existente na decomposição de serrapilheira e liteira de sistemas sombreados.

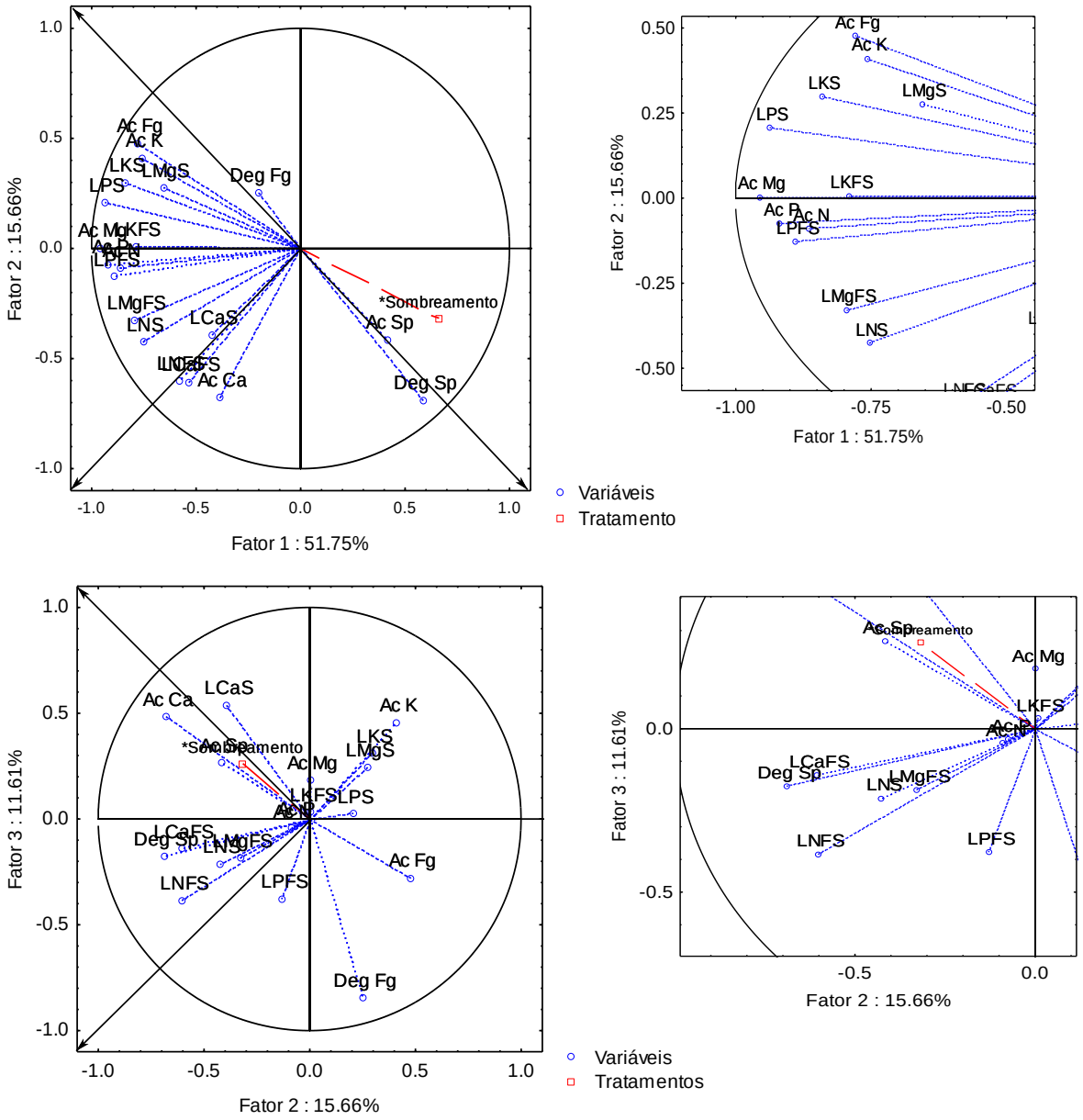


Figura 6. Variáveis reais tomadas na composição das componentes principais e circulo de correlação formado entre características e as componentes principais, em função da deposição de serrapilheira nos SSP 60, SSP 30 e floresta nativa, perdas de forragem nos SSP 60, SSP 30 e Sol Pleno, decomposição da serrapilheira e literira do pasto e liberação dos nutrientes K, P, Ca, Mg e N. Características próximas aos eixos das componentes e com raio próximo ao circulo possuem maior relevância.

3.3.1.8 Análises espaciais e agrupamento Fuzzy

3.3.1.8.1 Análise geoestatística

A partir da determinação das variáveis que compuseram as componentes principais, por serem de maior relevância na distinção dos sistemas e por sofrerem maior influência do raleamento, conduziu-se a avaliação da distribuição espacial de cada um destes atributos em função do ambiente.

A estatística descritiva dos dados das principais variáveis (Tabela 11) revela que todos os atributos relacionados a deposição e ciclagem de nutriente via serrapilheira e liteira não apresentaram distribuição normal ao teste de Kolmogorov-Smirnov (5%). Silva Neto (2012) também evidencia falta de normalidade em vários dados de ciclagem de nutrientes para áreas integradas.

Os coeficientes de variação (CV) de vários atributos da ciclagem foram superiores ou muito próximos a 60% (Tabela 11), indicando alta variabilidade (WARRICK e NIELSEN, 1980). Estes dados sugerem que as médias têm pouco ou nenhum significado e a avaliação deve ser feita através da variabilidade espacial, por reduzir o erro de estimativas médias, já que a média geral pouco representa o ambiente (SILVA NETO et al., 2012), haja vista que um mesmo ambiente possui distintas zonas com variados valores de ciclagem de nutrientes, que possuem variação regionalizada, apresentando dependência espacial entre os ambientes. Ainda, a variação dos atributos da ciclagem de nutrientes é alterável entre locais, dentro de um mesmo sistema, sob e fora a coroa das árvores em função do regime de distribuição de luz e flutuações de radiância (BENAVIDES et al., 2009).

As variações na ciclagem total de nutrientes dentro dos sistemas integrados, considerando o *pool* oriundo da liteira, pode ocorrer pela sensibilidade da produção de forragem às zonas sob as copas de aglomerados de árvores e sob clareiras. Wall (2006) encontraram que sob a copa de árvores o desenvolvimento do pasto é de apenas 32% do total à sol pleno, enquanto que o desenvolvimento sob clareira é de 50% podendo chegar a ser parecido com a produção de sistemas a céu aberto. Isso causa uma alta variabilidade dentro dos sistemas, elevando os coeficientes de variação, o que torna os dados impróprios para análises de medida central, mas, adequados para análise geoestatística, embora não apresentem distribuição normal. Segundo Isaaks e Srivastava (1989) a

normalidade dos dados não é pré-requisito obrigatório para análises de dependência espacial.

Os maiores CV para acúmulos de serrapilheira, Ca e Mg e liberação de K, P e Mg indicam que os acúmulos sofreram maior interferência da variação da densidade arbórea nos ambientes, podendo esta variabilidade estar condicionada pelo arranjo aleatório das árvores dentro dos sistemas integrados, a ausência de árvores em Sol Pleno e a diversidade arbórea na floresta nativa. Já a decomposição da liteira do pasto foi menos afetada pelas condições de sombreamento impostas por SSP 30, SSP 60 e Sol Pleno. A maior facilidade de decomposição deste material, em relação a serrapilheira, pode ter contribuído para uma decomposição mais homogênea entre os sistemas.

Silva Neto et al. (2012) também reporta elevados valores de CV para diferentes características de ciclagem de nutrientes em sistemas de interação floresta pasto e afirma que nestas condições somente a avaliação por meio da média pode levar a sub ou superestimativas da ciclagem total de nutrientes. Eles observaram que os altos CV indicam que a deposição e a decomposição pode ocorrer em locais específicos, como debaixo das coroas das árvores, sendo isso desfavorável a produção do pasto.

Os coeficientes de assimetria e curtose das variáveis acúmulos de serrapilheira e Ca, degradação da serrapilheira, liberação de N pela serrapilheira e liberação de Mg e N pela serrapilheira + liteira (Tabela 11), revelaram uma grande dispersão dos dados em torno da média, com valores próximos aos extremos da curva de distribuição e pequenos grupos com altos valores. Estes resultados são tendenciados pela não deposição de serrapilheira em Sol Pleno e por altos valores de deposição, em poucos pontos, na floresta.

Para os dados que tenderam a uma aproximação mais simétrica, e que não estiveram muito próximo à valores extremos, positivos ou negativos, nas caudas do gráfico de distribuição, houve uma variabilidade estruturada em função do ambiente e com algum tipo de forte dependência espacial. De modo geral, a falta de normalidade dos dados das características mensuradas não a descredencia para a análise geoestatística, embora a ocorrência de distribuições muito assimétricas não seja interessante (ISAAKS e SRIVASTAVA, 1989).

Tabela 11. Estatística descritiva dos componentes da ciclagem de nutrientes que compuseram componentes principais em sistema de monocultivo (Sol Pleno – SP), sistema agloflorestal com 30 e 60 % de sombreamento (SSP 30 e SSP 60) e floresta nativa ao longo de sete ciclos de avaliação.

Característica	Parâmetros									
	Min.	Máx.	Md	Mn	Mo	Desv.Pad.	Variação	Coeficiente Assimetria	Curtose	Normalidade KS
Ac. Serrap.	0	171	20,6	13,8	0	27	130	2,54	8,55	Não
Ac. Forrag.	0	58,9	32,06	28,6	50,8	14,47	45	0,11	-0,49	Não
Ac. Nutr. Ca	0,008	0,4	0,06	0,054	0,06	0,069	103	2,76	8,01	Não
Ac. Nutr. Mg	0,001	0,11	0,23	0,13	0,05	0,020	89,49	0,84	0,354	Não
Degrad. Serrap.	0	16,50	5,52	6,97	0	4,09	74,14	-0,20	-1,07	Não
Degrad. Forrag.	0	28,40	20,79	21,54	19,6	4,59	22,08	-3,61	14,45	Não
Lib. Nutri. Serrap. K	0,30	133,9	27,25	8,03	67,1	31	113,95	0,86	-0,44	Não
Lib. Nutri. Serrap. P	0,20	100,6	18,39	6,14	47,1	21,26	116	0,96	-0,09	Não
Lib. Nutri. Serrap. Mg	0,09	10,6	2,12	1,27	4,13	1,93	91,14	1,13	1,59	Não
Lib. Nutri. Serrap. N	0,63	690	54,29	40,16	89,9	70,20	129	5,44	45,63	Não
Lib. Nutri. Serrap. + Forrag. Ca	11,13	93,04	46,64	47,95	58,6	19,41	41,62	-0,063	0,056	Não
Lib. Nutri. Serrap. + Forrag. Mg	2	138,2	37,73	38,10	47,5	17,67	46,82	1,42	6,99	Não
Lib. Nutri. Serrap. + Forrag. N	16,06	392,5	76,21	84,75	89,9	39,72	52,12	3,38	25,6	Não

KS: Teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov significativo a 5%. Md: média; Mn: mediana; Mo: moda.

Ac. Serrap.: acúmulo de serrapilheira; Ac. Forrag.: acúmulo de forragem (liteira); Ac. Nutr. Acúmulo do nutriente; Degrad. Serrap.: degradação de serrapilheira; Degrad. Forrag.: degradação de liteira da forrageira; Lib. Nutri. Serrap.: liberação de nutrientes da serrapilheira; Lib. Nutri. Serrap. + Forrag.: liberação de nutrientes da serrapilheira e da forragem somados.

Na análise geoestatística, pela construção dos variogramas, evidenciou-se que todas as variáveis analisadas apresentaram dependência espacial definida por semivariogramas unidirecionais ajustados aos modelos teóricos esférico, exponencial, linear e gaussiano (Tabela 12). Silva Neto (2012) também relata que características de ciclagem de nutrientes se ajustam a modelos esféricos, exponenciais e gaussianos. Worsham et al. (2010) também encontraram ajustes de semivariogramas à modelos exponenciais e gaussianos ao estudarem as acúmulos e concentrações de C e N na serapilheira. Alguns estudos mostram que as concentrações de nutrientes minerais no tecido das plantas se ajustam comumente aos modelos esférico e exponencial (VIEIRA et al., 2010; LEÃO et al., 2010; CAVALCANTE et al., 2011; RODRIGUES JUNIOR et al., 2011). Os dados se ajustaram bem aos modelos definidos, haja vista os altos valores de coeficientes de determinação (R^2) e baixos erros (Soma de Quadrados dos Resíduos - SQR) (Tabela 8) estando de acordo com Silva Neto (2012).

Os valores do grau de dependência espacial (GDE) das variáveis que compuseram as componentes principais foram classificados como forte, com exceção da liberação de Ca da forragem + serraplheira, que foi médio (Tabela 12). Isso indica que o componente relacionado com a variabilidade aleatória (C_0) é bem menor que o componente associado com a variação estruturada ($C_1 = C_0 – C$, onde C é o Patamar), oriunda de uma dependência dos dados em função dos ambientes (SILVA NETO et al., 2012).

Diante disto, o fenômeno da variação espacial, descrito pelos modelos ajustados aos semivariogramas, pode ser representado, com precisão pela interpolação (VIEIRA et al., 2010), gerando valores médios em locais não amostrados com o mínimo de erro. Este processo identificou zonas distintas de ciclagem de nutrientes nos diferentes ambientes, onde os dados que as geraram possuíam dependência espacial e se modificavam em função do sistema de uso e do raleamento. Como os valores de Patamar foram bem definidos infere-se sobre a não ocorrência do efeito proporcional, onde a média da variabilidade (variância) é constante na área de estudo, fato que invalida a dependência espacial (SILVA NETO et al., 2012).

Os valores de alcance (Tabela 12) foram considerados suficientes, por serem maiores que as distâncias entre os pontos de coleta da malha, indicando

que o dimencionamento da malha e número de pontos amostrais foi adequado para expressar a dependência espacial das diversas variáveis. Estes valores indicam a distância máxima em que os pontos de amostragem estão correlacionados entre si e também pode indicar os limites de unidades de manejo e/ou uso e de ciclagem de nutrientes e/ou áreas de ciclagem homogênea. Ainda, o alcance mostra o raio no qual o pontos contidos são tão similares que podem ser usados para prever um valor dentro deste raio (SILVA NETO et al., 2012). Os alcances variaram de 34,8 a 180 m. Silva Neto (2012) obteve alcances para dados de ciclagem de nutrientes com variação 14,17 a 117,20 m.

Tabela 12. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas ajustados aos valores de características de ciclagem de nutrientes que compuseram componentes principais geradas em SSP com 30 e 60% de sombreamento, a Sol Pleno e em floresta nativa.

		Parâmetros						
Característica	Modelo	C_0	$C_0 + C$	Alcance (m)	GDE (%)	Classe	R^2	SQR
Ac Sp	Exp.	238	861	37,4	0,82	Forte	0,99	5,10
Ac Fg	Lin.	0,10	201	92,8	1,0	Forte	0,98	272
Ac Ca	Esf.	0,00027	0,0045	34,8	0,94	Forte	0,88	4,9e-07
Ac Mg	Esf.	0,00006	0,0076	195,5	0,92	Forte	0,99	2,0e-10
Deg Sp	Esf.	0,45	20,89	59	1,0	Forte	0,96	4,84
Deg Fg	Esf.	0,01	14,05	94	0,99	Forte	0,85	15,1
LKS	Esf.	147	1104	133	0,86	Forte	0,95	1369
LPS	Gaus.	103	616	77	0,83	Forte	0,98	1189
LMgS	Gaus.	2,08	6,17	97,3	0,73	Forte	0,97	0,049
LNS	Gaus.	96	2302	89	0,95	Forte	0,99	1386
LCaFS	Exp.	168	540,2	184	0,69	Média	0,95	308
LMgFS	Exp.	86,5	373,9	78,8	0,77	Forte	0,97	353
LNFS	Esf.	326	2237	194,7	0,85	Forte	1,0	200

Exp.: Exponencial; Esf.: Esférico; Gaus.: Gausiano; Lin.: Linear C_o: Efeito Pepita; $C_o + C$: Patamar (efeito pepita + contribuição). GDE: Grau de dependência espacial. SQR: Soma de quadrados do resíduo. Ac. Sp.: acúmulo de serrapilheira; Ac Fg.: acúmulo de forragem (liteira); Deg Sp.: degradação de serrapilheira; Deg Fg.: degradação da forragem (liteira); LKS: liberação de K pela serrapilheira; LPS: liberação de P pela serrapilheira; LMgS: liberação de Mg pela serrapilehria; LNS: liberação de N pela serrapilheira; LCaFS: liberação de Ca pela serrapilheira e literia do pasto; LMgFS: liberação de Mg pela serrapilheira e liteira do pasto; LNFS: liberação de N pela serrapilheira e liteira do pasto.

Os valores de alcance para acúmulo de serrapilheira e de Ca, além da decomposição da serrapilheira, foram relativamente baixos, evidenciando que estas características sofreram maior variação dentro da área de estudo, o que pode ter ocorrido devido a distribuição aleatória das espécies arbóreas e/ou a ausência de serrapilheira na área a Sol Pleno, gerando menor e/ou fragmentação

da continuidade da ciclagem no espaço (SILVA NETO et al., 2012). Já os maiores alcances, observados para acúmulo de Mg, liberação de K pela serrapilheira e liberação de Ca e N pela serrapilheira + forragem (Tabela 12), indicam continuidade dentro de cada sistema e mudança gradativa e contínua entre os sistemas, embora em menor magnitude.

A partir dos modelos obtidos nos semivariogramas ajustados para cada característica, e em função dos ambientes, estimaram-se os valores das variáveis de interesse para os locais não amostrados, por intermédio da interpolação de krigagem ordinária. Este processo quantifica a variabilidade, promove uma interpolação racional e estima a variância dos valores interpolados (FENG et al., 2004). Finalmente, com os valores gerados pela krigagem foi possível construir mapas de contorno que expressaram a variabilidade espacial para cada atributo relacionado a ciclagem de nutrientes que teve efeito na distinção dos sistemas. Os resultados permitiram caracterizar os fenômenos da variação espacial para cada atributo em função do raleamento (Figuras 7, 8 e 9).

Na figura 7 são apresentados os mapas de isolinhas e distribuição espacial das características acúmulos de serrapilheira, Ca e Mg, perdas de forragem, e decomposição da serrapilheira e da liteira do pasto. É possível observar que os maiores acúmulos de serrapilheira e de Ca ocorreram na floresta nativa (60 a 100 g m^{-2} $mês^{-1}$), haja vista que este ambiente possuia o maior número de árvores e maior diversidade florística (CARDENAS et al., 2008), com grande quantidade de espécies semicaducifólias (BENAVIDES et al., 2009). Contudo, as áreas SSP 30 e SS 60 apresentaram zonas com intensidade de deposição de serrapilheira parecida com a floresta nativa (60 a 80 g m^{-2} $mês^{-1}$), mas em geral a deposição nos sistemas integrados (20 a 60 g m^{-2} $mês^{-1}$) foi inferior a floresta.

Entre os sistemas integrados a deposição de serrapilheira foi bem parecida (SILVA NETO et al. 2012), excetuando-se algumas zonas de menor deposição em SSP 60, embora o SSP 30 tivesse menor densidade arbórea. Este pode ser o resultado do maior número de babaçus em SSP 60, que possuem menor perda de folhas e do maior número de espécies caducifólias em SSP 30. Silva Neto (2012) verificou deposição de serrapilheira da ordem de 300 a 600 g m^{-2} $mês^{-1}$ em floresta nativa e de 500 a 800 g m^{-2} $mês^{-1}$ em sistemas raleados.

Os menores acúmulos de Ca ocorrem em SSP 60, onde houveram as maiores densidade dos babaçuais. Isto pode ser um indicativo do baixo teor deste nutriente na serrpilheira do babaçu ou de sua menor taxa de decomposição. De Montard et al. (1999) revelam que a serrapilheira de espécies arbóreas não caducifólias possuem menor decomposição que espécies caducas. Wedderburn e Carter (1999) citam que serrapilheira de espécies de Eucalipto e Carvalho são pobres em nutrientes e isso prejudica o desenvolvimento de microorganismos e a ciclagem de nutrientes.

As áreas SSP 30 e floresta apresentaram acúmulos intermediários de Ca, possivelmente alavancados pela presença de outras espécies arbóreas além do babaçu (Figura 7). Já Sol Pleno apresentou os maiores acúmulos, haja vista a grande quantidade de Ca nos tecidos foliares do capim e sua menor taxa de translocação para tecidos novos na planta. Bahamond et al. (2012) também constataram que há menor teor de Ca na serrapilheira de sistemas integrados em relação a liteira do pasto. Silva Neto (2012) não observaram efeito do raleamento sob os acúmulos de Ca em SSP com 57% de sombreamento e a floresta nativa.

As maiores perdas de forragem ocorreram em zonas na área Sol Pleno (40 a 60 g MS m^{-2} $mês^{-1}$), (Figura 7). Isto pode ser o resultado de maiores taxas metabólicas de crescimento e desenvolvimento do pasto exposto a radiação direta interruptamente. A área SSP 30 apresentou perda de forragem intermediária (20 a 30 g MS m^{-2} $mês^{-1}$) e SSP 60 apresentou as menores zonas de perdas. (10 a 20 g MS m^{-2} $mês^{-1}$). Esta diminuição da senescência em ambientes mais sombreados (menos raleados) é resultado do menor desenvolvimento das plantas devido o menor aporte de luz para a produção de fotossintaos e menor efeito prejudicial do excesso de radiação (BALIGAR et al., 2010). Desta forma a ciclagem de nutrientes via liteira do pasto aumenta a medida que se eleva a intensidade do raleamento, em detrimento da maior produção de forragem. Benavides, Douglas e Osoro (2009) e Peri et al. (2007) também aludem que em sistemas sombreados há menor desenvolvimento do pasto por deficiência de radiação para a produção de carboidratos.

No SSP 60 a redução da produção do pasto também pode ter sido afetada pela idade das palmeiras de babaçu. Nesta área havia maior número de palmeiras jovens, com folhas mais justapostas, que no SSP 30, onde havia mais

palmeiras adultas, com elevado estirpe e folhas (palhas) mais espaçadas, permitindo maior transmissividade da luz ao sub-bosque. Benavides, Douglas e Osoro (2009) também comentam que a idade das árvores dos sistemas integrados afetam a passagem da luz para o dossel forrageiro, sendo que árvores mais velhas reduzem mais a chegada da radiação a pastagem, efeito lógico mas justamente contrário ao observado neste estudo, sendo que esta discrepância pode estar relacionada a diferenças físicas e morfológicas entre espécies do componente arbóreo.

Os maiores acúmulos de Mg ocorreram em Sol Pleno (0,036 a 0,060 g m^{-2} $mês^{-1}$) e os menores em SSP 60 (0 a 0,006 g m^{-2} $mês^{-1}$), (Figura 7). Isto evidencia maiores de teores de Mg nas folhas do capim, logicamente devido a elevada concretração de clorofila, onde o Mg é um dos seus constituintes. Já na serrapilheria das áreas integradas, a deposição de estruturas de sustentação (galhos) onde não há elementos fotossintetizantes e elevados teores de ligninan (WEDDERBURN e CARTER, 1999), a deposição de Mg torna-se menor. Na floreta nativa e em algumas zonas em SSP 30 há maiores deposição de Mg possivelmente devido a presença de outras espécies arbóreas além do babaçu. Diante disto a introdução de gramínea no ambiente da floresta, gerando os sistemas integrados, pode servir para elevar a ciclagem de Mg.

A decomposição da serrapilheira nas áreas integradas e na floresta nativa, embora tenha servido para distinguir os ambientes na ACP, apresentou zonas de mesma magnitude entre estes três ambientes (6 a 10% $bimestre^{-1}$), (Figura 7). Silva Neto (2012) também reporta homogeneidade da decomposição de biomassa de serrapilheira em sistemas integrados. Isto evidencia que o raleamento não afetou severamente a atividade decompositora da biomassa vegetal da floresta, não afetando, por conseguinte, a decomposição. Guevara - Escobar (1999) também encontraram atividade de minhocas semelhante entre sistemas integrados e monocutivo. Em relação a não diferenciação da decomposição nos ambientes e sua participação na formação de componentes principais, infere-se que tal evento ocorreu em virtude de não haver serrapilheira em Sol Pleno, logo sua decomposição é um atributos que distingui sistemas integrados e solteiros.

Já a taxa de decomposição da literia do pasto ocorreu de forma bem parecida em todos os ambientes (média de 20% $bimestre^{-1}$), com exceção da

floresta, onde não havia capim. Isto demonstra que a presença do componente arbóreo nos sistemas integrados não alterou a biota decompositora do solo, embora alguns autores, citados por Benavides et al., (2009), defendam contraditóriamente que a presença de árvores pode reduzir a população de invertebrados e isso pode reduzir a atividade decompositora: isto pode ser o resultado do monocultivo de espécies arbóreas.

Variações mais drásticas na decomposição de liteira em zonas dentro da área Sol Pleno (Figura 7) podem ser resultados de variações no teor de umidade do solo (dados não apresentados), de zonas de sombreamento e/ou de variações na qualidade do material em função de locais específicos (BAHAMOND et al., 2012). Alguns estudos citam que solos sob pastagem pode até ter conteúdo de água igual ou mesmo superior a solos sob sistemas integrados, mas há grande variação em função do distanciamento das plantas. A decomposição física da liteira em pastagem a céu aberto também é mais afetada por efeitos físicos dos ventos em relação a sistemas integrados (BENAVIDES et al., 2009).

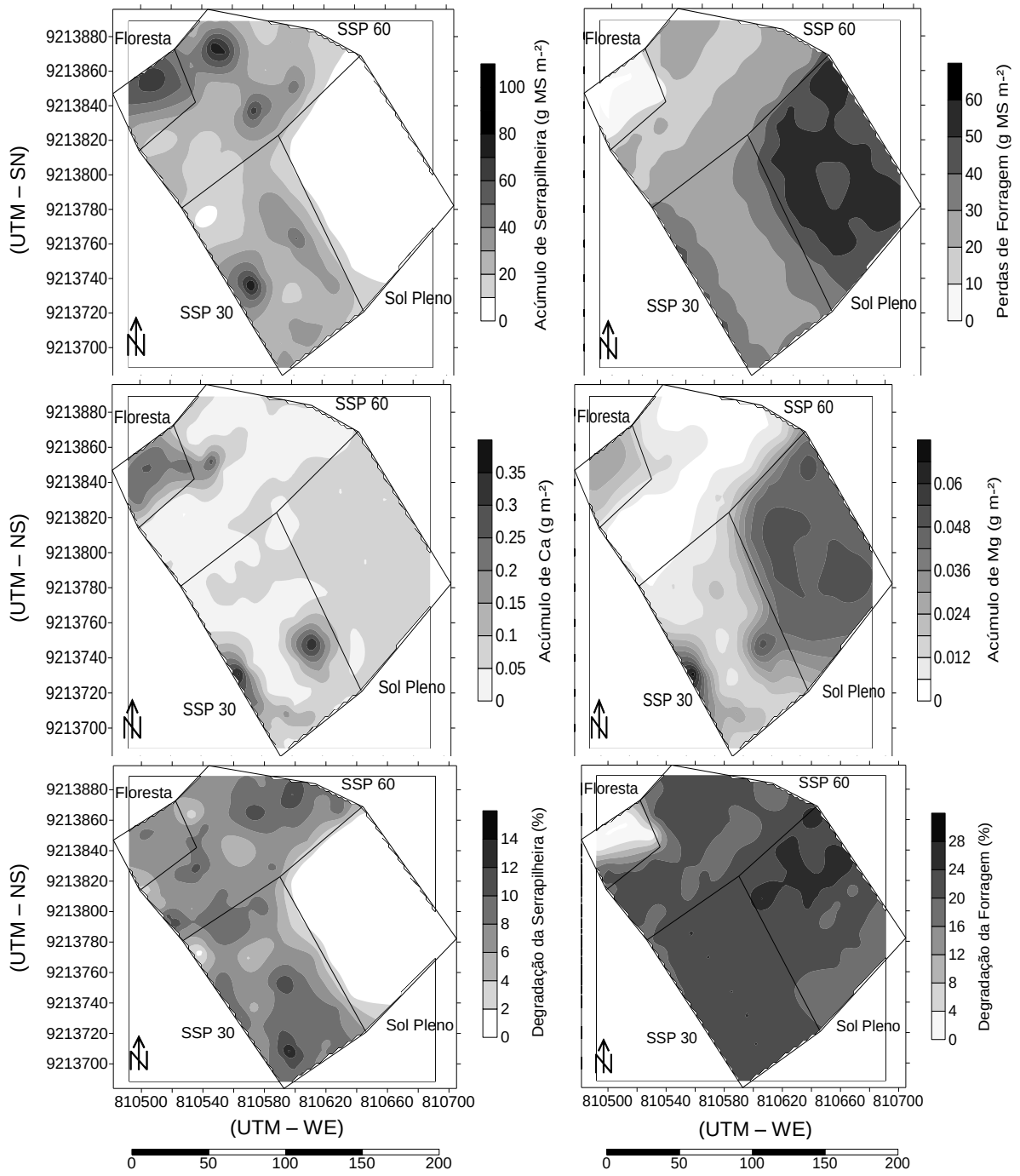


Figura 7. Mapas de contorno da distribuição espacial do acúmulo de serrapilheira, perda de forragem, acúmulos de Ca e Mg e degradação da serrapilheira e liteira do pasto em SSPs com 30 e 60% de sombreamento, Sol Pleno e floresta nativa, que apresentam significância na formação de componentes principais. (Avaliações mensais).

Quanto a liberação de nutrientes oriundos da serrapilheira nos sistemas integrados e na floresta e da liteira do pasto em Sol Pleno (Figura 8), pôde-se verificar que as maiores taxas de liberação de K, P, Mg e N ocorreram na área

sob monocultivo, evidenciando maiores teores destes elementos na liteira da gramínea em relação a serrapilheira. Isto é o resultado do elevado teor de fibra na serrapilheira do babaçu e sua menor concentração de nutrientes. Wedderburn e Carter (1999) mencionam que serrapilheira com elevados teores de lignina (15 a 35%) promovem a imobilização de elementos como o N ao invés da sua liberação e isso retarda o processo de ciclagem. Benavides et al., (2009) também reportam que pastagem sob moncultivo podem possuir maior *pool* de N que pastagem sob sistemas integrados, mas que sistemas integrados possuem maior acúmulo total de C do que pastos a céu aberto.

Esta maior liberação de nutrientes da liteira ainda pode ser o resultado de maiores taxas de decomposição deste material quando comparado a serrapilheira, já que esta última possui grande quantidade de materiais lignificados com alta relação C:N. Benavides et al. (2009) relatam que a serrapilheira oriunda de árvores não leguminosas possuem menor capacidade de ciclagem de N, pois o pouco depositado é rapidamente reabsorvido, ficando retido nos tecidos vegetais a maior parte do ciclo, o que torna a serrapilheira sob estas árvores pobre em elementos como o N e com elevada relação C:N.

Baixas liberações de K nas áreas integradas (babaçuais) podem ser o resultado de elevadas taxas de reabsorção pelas palmeiras, reduzindo seus teores na liteira (BAHAMOND et al., 2012) o que favorece a imobilização ao invés da mineralização. Benavides, Douglas e Osoro (2009) relatam que bases como o K é pouco ciclada em sistema integrados com coníferas. Já a maior liberação de N da liteira é resultado da facilidade de lavagem de compostos nitrogenados lábeis deste material em relação a serrapilheira (MORETTO e DISTEL 2003).

Entre os sistemas integrados pôde-se observa que no SSP 60, onde há maior número de babaçus, ocorreram zonas com menor liberação de P e N provenientes da serrapilheira (Figura 8). A floresta nativa apresentou maiores liberações de K, em relação aos sistemas SSP 30 e SSP 60 e maiores liberações de P e N em relação a área SSP 60 (Figura 8). Silva Neto (2012) também observou maiores liberações de nutrientes onde houve maior deposição de serrapilheira. As menores liberações de Ca da serrapilheira pode ser o resultado dos baixos teores deste elemento no material depositado, que favorece a imobilização ao invés da liberação (BAHAMOND et al., 2012). Isto evidencia que

o raleamento seletivo a favor do babaçu tende a reduzir a ciclagem de nutrientes via serrapilheira, sendo esta redução mais acentuada quanto maior for a intensidade do raleamento e/ou maior o número de babaçus no componente arbóreo. Benavides et al. (2009) também relatam que bases como o Ca é pouco ciclada em sistema integrados com coníferas.

As maiores liberações de K na floresta em relação aos sistemas integrados ocorrem possivelmente devido a existência de maiores teores do elemento no material depositado neste local. Bahamond et al. (2012) cita que serrapilheira com maiores concentrações de nutrientes promovem maiores liberação em curto espaço de tempo.

Em relação a ciclagem total de nutrientes dos componentes vegetais, considerando o montante liberado pela serrapilheira + liteira do pasto nos sistemas integrados, pôde-se observar que a presença da gramínea no sub-bosque serviu para elevar a taxa de liberação de Mg, N e Ca (Figura 8). Bahamond et al. (2012) menciona que em sistemas mais raleados a luminosidade favorece o crescimento das gramíneas e isso serve para aumentar a incorporação de liteira no solo. Perez Harguindeguy et al. (2008) menciona que as gramíneas possuem uma composição química favorável a decomposição e promovem um efeito aditivo na ciclagem de nutrientes em sistemas silvipastoris. Estes autores compararam a ciclagem de nutrientes de serrapilheira + liteira e somente serrapilheira e observaram melhor qualidade para o material misturado. Benavides et al., (2009) tabém inferem que gramíneas sombreadas podem apresentar maiores teores de N haja vista a ocorrência de efeito de aclimatação das plantas com o aumento de clorofilas.

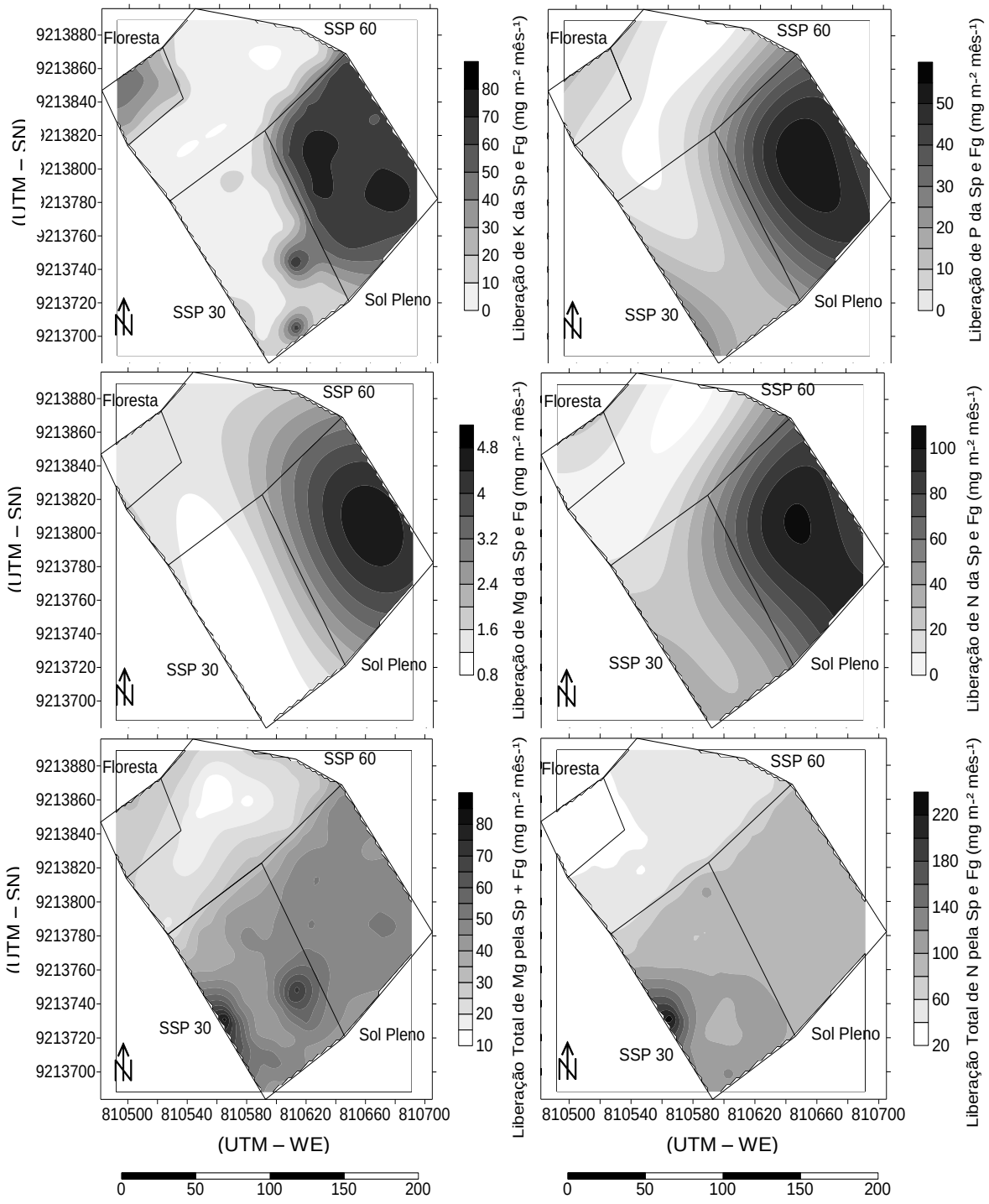
Cardenas et al. (2008) também avaliaram taxas de deposição, decomposição e ciclagem de nutrientes em sistemas silvipastoris compostos por *Panicum maximum.* Eles encontraram maiores valores de deposição e ciclagem de nutrientes nos sistemas integrados em relação aos solteiros. Verificaram que os detritos oriundos do pasto associado à espécies leguminosas elevam a ciclagem de nutrientes, conforme Rezende et al. (1999). Ainda verificaram maior diversidade, aumento da atividade biológica e maior estabilidade dos sistemas integrados.

A contribuição da liteira do pasto para a liberação destes elementos fez com que diversas zonas da área SSP 30, onde houve maior produção de forragem que SSP 60, tivessem a ciclagem destes elementos semelhantes, ou mesmos superiores, a área a Sol Pleno. Devido os elevados teores de Ca na liteira da gramínea, suficiente para atender a demanda biológica e liberar o excedente, houve elevação da liberação de Ca nos ambientes SSP 30 e SSP 60 graças a decomposição da liteira do pasto (BAHAMOND et al., 2012). Menores liberações de Ca em serrapilheira são relatada também por Bahamond et al. (2012) devido a baixa decomposição de elementos estruturais.

A área SSP 60 apresentou a menor liberação de Mg, N e Ca oriundos da gramínea (Figura 8), haja vista que neste sistema o raleamento foi menor (maior sombreamento), houve maior número de babaçu por área e a produção de liteira do pasto foi reprimida (Tabela 2). Logo, a contribuição da gramínea para a ciclagem total de nutrientes em SSP 60 foi inferior a contribuição existente em SSP 30. De modo geral, houve maior ciclagem de nutrientes nos sistemas integrados SSP 30 e SSP 60 em relação na floresta nativa, confirmando a hipótese de que a gramínea pode elevar o *pool* de elementos ciclados.

Diante disto, fica evidente que o SSP 30, possuidor de maior produção de forragem do sub-bosuqe, pode manter taxas de ciclagem de nutrientes maiores que sistemas sob monocultivo e até mesmo maiores que a floresta nativa. Sua vantagem em relação ao SSP 60 está no fato de permitir maior desenvolvimento da gramínea e de haver maior diversidade florística (CARDENAS et al., 2008). Logo, torna-se claro a necessidade de se estabelecer o nível de sombreamento em SSPs com florestas secundárias não apenas em função da adaptabilidade da forrageira à sombra, mas deve-se considerar a diversidade arbórea.

Em relação a ciclagem total de nutrientes pode-se observa que os elementos mais ciclados, em função da deposição e da taxa de decomposição, ocasionando a liberação, foram o Mg, Ca e N (Figura 6 – Tabela 10). A ciclagem de Mg e N nos sistemas integrados foi beneficiada pela presença da gramínea, fato que ocorreu possivelmente pelo aumento dos teores deste elementos no tecidos da forrageira em função dos efeitos do sombreamento que pode promover a aclimatação da gramínea através do aumento da quantidade de clorofila.


Floresta
SSP 60
SSP 30
Sol Pleno
(UTM – SN)
(UTM – WE)
9213880
9213860
9213840
9213820
9213800
9213780
9213760
9213740
9213720
9213700
810500 810540 810580 810620 810660 810700
0 50 100 150 200
Liberação de K da Sp e Fg (mg m-² mês-¹)
80 70 60 50 40 30 20 10 0
Liberação de P da Sp e Fg (mg m-² mês-¹)
50 40 30 20 10 0
Liberação de Mg da Sp e Fg (mg m-² mês-¹)
4.8 4 3.2 2.4 1.6 0.8
Liberação de N da Sp e Fg (mg m-² mês-¹)
100 80 60 40 20 0
Liberação Total de Mg pela Sp + Fg (mg m-² mês-¹)
80 70 60 50 40 30 20 10
Liberação Total de N pela Sp e Fg (mg m-² mês-¹)
220 180 140 100 60 20

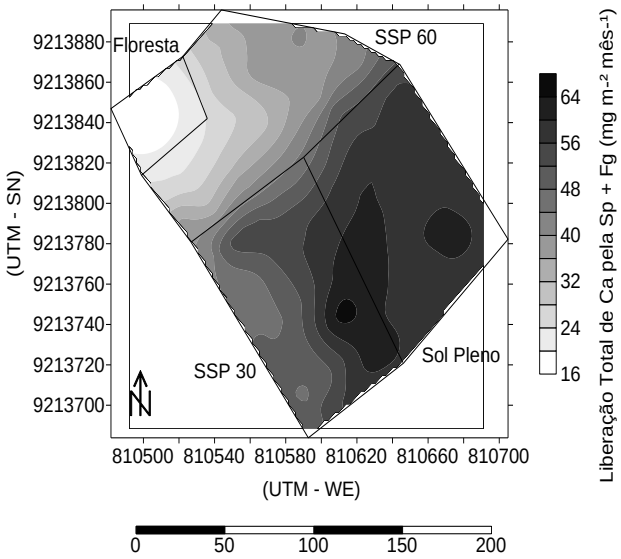


Figura 8. Mapas de contorno da distribuição espacial da liberação dos nutrientes Mg, N e Ca pela serrapilheira + liteira do pasto em SSPs com 30 e 60% de sombreamento, Sol Pleno e floresta nativa, que apresentam significância na formação de componentes principais

3.3.1.8.2 Análise de agrupamento Fuzzy

Os dados das variáveis que compuseram os componentes principais (autovetores) foram submetidos a análise de agrupamentos não hierárquicos pela lógica fuzzy *k*-médias para definição de classes de sistemas em função do raleamento (SILVA NETO, 2012). Cada ponto que apresentava os valores de 13 características da ACP passou a ser representado por um único valor representativo artificial, oriundo da fusão das médias dos autovalores da ACP. Isto permitiu definir zonas que, em função das 13 variáveis originais, apresentaram-se diferentes e caracterizaram áreas distintas de ciclagem de nutrientes. O número adequado de classes foi determinado pelo índice de desempenho fuzzy (FPI: Fuzziness Performance Index) e pela partição de entropia modificada (MPE: Modified Partition Entroppy) (Tabela 13) e serviram para reduzir a confusão da sobreposição de áreas, delimitando os sistemas distintos.

O número de classes ideais gerados pela lógica fuzzy utilizado em função do menor erro foi de duas (Tabela 13). Após definido o número ideal de classes realizou-se a interpolação das médias multivariadas fuzzy em função da participação de cada individuo *i* em uma das classes *k*, usando-se o método de interpolação de vizinhos naturais (SILVA NETO, 2012).

Tabela 13. Valores dos índices FPI e MPE em função dos números de classes geradas pela lógica fuzzy k-médias para as áreas de SSPs com 30 e 60% de sombreamento e área Sol Pleno.

Classes	2	3	4	5
FPI	0.832967E-01	0.126796	0.974899E-01	0.845578E-01
MPE	0.106513	0.131624	0.906550	0.813734

FPI: Fuzziness Performance Index. MPE: Modified Partition Entroppy.

Por este algoritmo pode-se avaliar que a ciclagem de nutrientes nas áreas SSP 60 e na floresta foram semelhantes (Figura 9). Logo o raleamento até 60% de sombra não modificou a ciclagem de nutrientes em relação ao ambiente recuperado, mas a produção de forragem foi muito comprometida em relação a Sol Pleno. Silva Neto (2012) também observou que o raleamento de floresta secundária no norte do Tocantins não alterou o padrão de ciclagem de nutrientes quando o raleamento foi de moderado a leve (relamento até 80% de sombreamento). Isto indica que é possível construir SSPs onde as condições de ciclagem e sustentabilidade são semelhantes a da floresta. O raleamento deve ser leve (mínimo de 60% de sombra) e a produção de forragem será reduzida, mas agressão ao ambiente será mitigada.

A ciclagem no SSP 30 possuiu zonas semelhantes a SSP 60 e a floresta e zonas semelhantes a Sol Pleno (Figura 9). Logo, o sistema SSP 30 torna-se o modelo mais interessante do ponto de vista da produção forrageira e da ciclagem de nutrientes, haja vista a presença de pontos com ciclagem superior a Sol Pleno e SSP 60 e maior produção de forragem. Rezende et al. (1999) reporta que a ciclagem de nutrientes oriundos de detritos de diferentes espécies vegetais, como leguminosas e gramíneas, é superior a ciclagem derivada de gramíneas somente.

Avaliando-se a distinção das classes (Figura 9) observa-se que a diferenciação foi promovida principalmente pela presença do componente arbóreo, mas que em SSP 30 há uma densidade arbórea e uma produção de forragem que torna algumas zonas mais parecida com sistema sob monocultivo. Desta forma infere-se que níveis de sombreamento menores que 30% em SSP de

floresta secundária pode promover reduções da ciclagem total de nutrientes, tornando o sistema semelhante a áreas sob monocultivo.

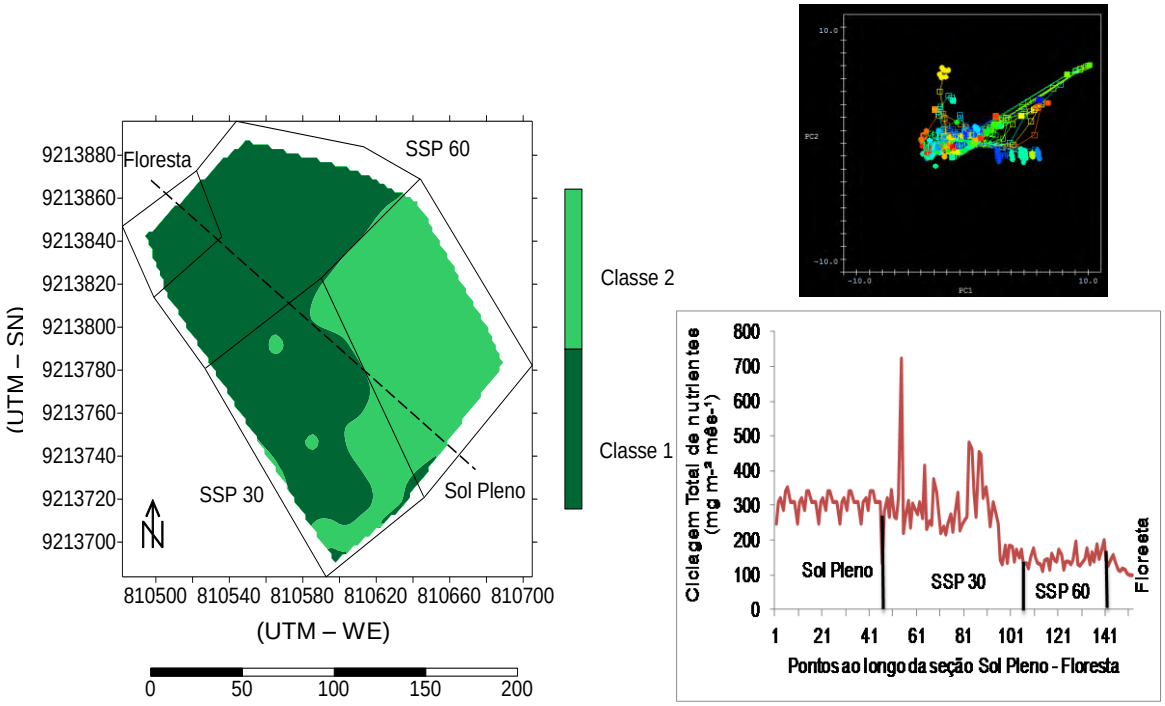


Figura 9. Mapa de contorno de classes de manejo existentes nas áreas de SSPs com 30 e 60% de sombreamento, Sol Pleno e Floresta nativa.

3.4 CONCLUSÕES

Os resultados evidenciaram que o raleamento da floreta provoca uma redução na deposição de serrapilheira, mas não na taxa de decomposição, que possuiu a mesma magnitude entre os sistemas integrados e a floresta, diminuindo exponencialmente ao longo do tempo.

A seleção para permanência das palmeiras de babaçu, e a retirada das demais espécies, causa diminuição da deposição e da ciclagem dos nutrientes.

A presença da gramínea no sub-bosque dos sistemas integrados promove um aumento da taxa total de ciclagem de nutrientes e o sistema com 30 % de sombreamento possui maior taxa de retorno de nutrientes que a floresta e o pasto sob monocultivo. No SSP 30 a produção do pasto e a ciclagem da liteira é semelhante a da área sob monocultivo e a ciclagem da serrapilheira é semelhante com a da floresta, sendo, portanto o sistema mais eficiente do ponto de vista produtivo e agroecológico.

Embora o raleamento altere as taxas de ciclagem de nutrientes nos sistemas integrados estes eventos ocorrem de forma mais parecidas com a floresta do que com o sistema sob monocultivo, logo, os ambientes avaliados podem ser considerados apenas como zonas de manejo com e sem o compoennte arbóreo. Desta forma, quanto maior a intensidade do realeamento mais a ciclagem será parecida coma aquela que ocorre no pasto sob monocultivo.

A presença da gramínea nos ambientes integrados proporciona aumentos da ciclagem de N, K e Mg, enquanto o raleamento promoveu uma redução da ciclagem de Ca. Estes são os elementos mais influenciados pelos sistemas integrados e pelo raleamento. O K apresenta a maior taxa de liberação e retorno ao solo. Quanto a liberação de nutrientes dos materiais depositados, pôde-se verificar que a literira do pasto possui maior capacidade de ciclagem dos nutrientes, ja que possui maior teor de elementos e maior taxa de decomposição que a serrapilheira. Ao longo do tempo a maior ciclagem ocorre nas épocas relacionadas aos períodos de transição chuvas/seca, onde há maior deposição de serrapilheira sem comprometer a taxa de decomposição.

3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALFREDSSON, H.; CONDRON, L.M.; CLARHOLM, M.; DAVIS, M.R. Changes in soil acidity and organic matter following the establishment of conifers on former grassland in New Zealand. **Florest Ecology Manage**. v.112, n.3 p.245–252, 1998.

BERG, B.; EKBOHM, G.; JOHANSSON, M.B.; MCCLAUGHERTY, C.; RUTIGLIANO, F.; VIRZO DE SANTO, A. Maximum decomposition limits of forest litter types: a synthesis. **Canadian Jounal of Botany**. v. 74, n.5, p.659 - 672, 1996.

BERG, B.; LASKOWSKI, R. Changes in nutrient concentrations and nutrient release in decomposing needle litter in monocultural systems of Pinus contorta and Pinus sylvestris: a comparison and synthesis. **Scand Jounal Forage Research.** v.12, n.2, p.113–121, 1997.

BRANDT, L.A.; KING, J.Y.; MILCHUNAS, D.G. Effects of ultraviolet radiation on litter decomposition depend on precipitation and litter chemistry in a shortgrass steppe ecosystem. **Global Change Biology**. v.13, n10, p.2193–2205, 2007.

CALDENTEY, J.; IBARRA, M.; HERNÁNDEZ, J. Litter fluxes and decomposition in Nothofagus pumilio stands in the region of Magallanes, Chile. **Forage Ecology Manage**. v.3, n.148, p.145–157, 2001.

CARDENAS, S.S.; ORTEGA, Y.G. Accumulation and decomposition of litter in pasture of Panicum maximum and in silvopastoral system associated with *Leucaena leucocephala*. **Zootecnia Tropical**. v.26, n.3, p. 269-273, 2008.

CAVALCANTE, E, G. S.; ALVES, M. C.; SOUZA, Z. M.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 15, n. 3, p. 237-243, 2011.

CECATO, U.; CASTRO, C.R.C.; CANTO, M.W.; PETERNELLI, M.; ALMEIDA JÚNIOR, J.A.; JOBIM, C.C.; CANO, C.C.P. Perdas de forragem em capim tanzânia (Panicum maximum Jacq cv. Tanzania-1) manejado sob diferentes alturas sob pastejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.30, n.2, p.295 - 301, 2001.

CIANCIARUSO, M. V.; PIRES, J. S. R.; DELITTI, W. B. C.; SILVA, E. F. L. P. Produção de serapilheira e decomposição do material foliar em um cerradão da Estação Ecológica de Jataí, município de Luiz Antônio, SO, Brasil. **Acta Botanica Basilica**. v.20, n.1, p. 49-59, 2006.

COLLIER, L.S.; LARA, M.A.S.; VILELA, L.; SIQUEIRA, F.L.T. **Recomendação de adubação e calagem a partir do manejo da fertilidade de solos cultivados**

com pastagens no Cerrado. In: Santos, A.C. (ORG.). Manejo de solos sob pastagens Tropicais, 2008. p.12.

CUNHA NETO, F.V.; LELES, P.S.S.; PEREIRA, M.G.; BELLUMATH, V.G.H.; ALONSO, J.M. Acúmulo e decomposição da serapilheira em quatro formações florestais. **Ciência Florestal**. v. 23, n.3, p. 379-387, 2013.

De MONTARD, F.X.; RAPEY, H.; DELPY, R.; MASSEY, P. Competition for light, water and nitrogen in an association of hazel (*Corylus avellana* L.) and cocksfoot (*Dactylis glomerata* L.). **Agroforestry systems**, v.43, n.3 p.135-50, 1999.

DIEHL, P.; MAZZARINO, M.J.; FUNES, F.; FONTENLA, S.; GOBBI, M.; FERRARI, J. Nutrient conservation strategies in native Andean-Patagonian forest. **Jounal Vegetable Science**. v.14, n.1, p.63–70, 2003.

DOUGLAS, G.B.; WALCROFT, A.S.; HURST, S.E.; POTTER, J.F.; FOOTE, A.G.; FUNG, L.E.; EDWARDS, W.R.N.; VAN DEN DIJSSEL, C. Interactions between widely spaced young poplars (Populus spp.) and the understorey environment. **Agroforesty System**.v.67,n.2, p.177–186, 2006b.

DOUGLAS, G.B.; WALCROFT, A.S.; WILLS, B.J.; HURST, S.E.; FOOTE, A.G.; TRAINOR, K.D.; FUNG, L.E. Resident pasture growth and the micro-environment beneath young, widely-spaced poplars in New Zealand. **New Zealand Grassland Association**. v.63, p.131–138, 2001.

FREIRE, J. L.; DUBEUX JÚNIOR, J. C. B.; LI, M. A.; FERREIRA, R. L. C.; SANTOS, M. V. F.; FREITAS, E. V. Decomposição da serrapilheira em bosque de sabiá na Zona da Mata de Pernambuco. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v. 39, n. 8, p. 1659-1665, 2010.

GAMA-RODRIGUES, A.C.; GAMA-RODRIGUES, E.F. BRITO, E.C. Decomposição e liberação de nutrientes de Resíduos culturais de plantas de cobertura em Argissolo vermelho-amarelo na região Noroeste fluminense (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, n.6, p.1421-1428, 2007

GIDDENS, M.; PARFITT, R.L.; PERCIVAL, H.J. Comparison of some soil properties under Pinus radiata and improved pasture. **New Zealand Journal Agriculture Research**. v.40, n.3, p.409–416, 1997.

GODINHO, T.O.; CALDEIRA, M.V.W.; ROCHA, J.H.T.; CALIMAN, J.P.; TRAZZI, P.A quantificação de biomassa e nutrientes na serapilheira acumulada em trecho de floresta estacional semidecidual submontana, ES. **Revista Cerne**, v. 20, n.1, p. 11-20, 2014.

GUEVARA-ESCOBAR, A.; KEMP, P.D.; MACKAY, A.D.; HODGSON, J. Soil properties of a widely spaced, planted poplar (Populus deltoides)-pasture system in a hill environment. **Australian Jounal Soil Research**. v.40, n.?, p.873–886, 2002.

HARMON, M.E.; SILVER, W.L.; FASTH, B.; CHEN, H.; BURKE, I.C.; PARTON, W.J.; HART, S.C.; CURRIE, W.S. Long-term patterns of mass loss during decomposition of leaf and fine root litter:Anintersite comparison. **Global Change Biology**. v.15, n.5, p.1320–1338, 2009.

HÉCTOR, A.; BAHAMONDE, P.L.; PERI, R.; ALVAREZ, A.; BARNEIX, A.; MORETTO, G.; MARTINEZ, P. Litter decomposition and nutrients dynamics in Nothofagus antarctica forests under silvopastoral use in Southern, v.84, n.3, p.345-360. 2012.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geoestatistics.** New York: Oxford University. 1989, 561p.

LEÃO, M. G. A.; MARQUES JÚNIOR, J.; SOUZA, Z. M.; SIQUEIRA, D. S.; PEREIRA, G. T. O relevo na interpretação da variabilidade espacial dos teores de nutrientes em folhas de citros. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 14, n. 11, p. 1152-1159, 2010.

LUIZÂO, F. J. Ciclos de nutrientes na Amazônia: respostas à mudanças ambientais e climáticas. **Ciência e Cultura**. v. 59, n. 3, p.31-36, 2007.

LUIZÂO, F. J.; SCHUBART, H. O. R. Litter production and decomposition in a terra-firme forest of Central Amazonia. **Experientia**, v. 43, n. 3, p. 259-265. 1987.

MANCILLA-LEYTÓN, J.M.; SÁNCHEZ-LINEROS, V.; VICENTE, A.M. Influence of grazing on the decomposition of Pinus pinea L. needles in a silvopastoral system in Doñana, Spain. **Plant Soil**. v.373, n.2, p.173–181, 2013.

MINASNY, B.; McBRATNEY, A. B. **FuzMe version 3.0**. Australian Center of Precision Agriculture, The University of Sidney. 2002.

MOLIN, J. P.; CASTRO, C. N. establishing management zones using soil electrical conductivity and other soil properties by the fuzzy clustering technique, **Scientia Agricola**, v. 65, n. 6, p. 5 67-573, 2008.

MOREIRA FILHO, M.A.; OLIVEIRA, M.E. Composição bromatológica de seis espécies nativas do estado do Piauí consumidas por caprinos. **PUBVET**. v.2, n.34, ed.45, art. 219, 2008. Disponível em: http://www.pubvet.com.br/artigos_det.asp?artigo=219. Acesso em: 03/09/2012.

MORETTO, A.; DISTEL, R. Decomposition of and nutrient dynamics in leaf litter and roots of Poa ligularis and Stypa gyneriodes. **Jounal Arid Environment**. v.55, n.3, p.503 - 514, 2003.

New Zealand Poplar Commission Poplar Agroforestry: **an introduction to using poplars for timber**. In: Research-Hort Research L. (ed) Palmerston North, 1995.

OLIVEIRAI, F.R.L.; RAMOS, V.A.M.M.S.; SANTOS, L.D.T.; OLIVEIRA, N.J.F.; GERASEEV,L.C. Comportamento de *Andropogon gayanus* cv. 'planaltina' e

Panicum maximum cv.‘Tanzânia’ sob sombreamento. **Ciência Rural**. v.43, n.2, p.348-354, 2013.

PARFITT, R.L.; PERCIVAL, H.J.; DAHLGREN, R.A.; HILL, L.F. Soil and solution chemistry under pasture and radiata pine in New Zealand. **Plant Soil**. v.191, n.2, p.279–290, 1997.

PEREZ-HARGUINDEGUY, N.; BLUNDO, C.M.; GURVICH, D.E.; DÍAZ, S.; CUEVAS, E. More than the sum of its parts? Assessing litter heterogeneity effects on the decomposition of litter mixtures through leaf chemistry. **Plant Soil**. v.303, n.2, p.151–159, 2008.

PERI, P.L.; LUCAS, R.J.; MOOT, D.J. Dry matter production, morphology and nutritive value of Dactylis glomerata growing under different light regimes. **Agroforestry System**. v.70 n.1, p.63–79, 2007.

PRESCOTT, C.E. Litter decomposition: What controls it and how can we alter it to sequester more carbon in forest soils. **Biogeochemistry**. v.101, n.3, p.133–149, 2010.

REIS, G.L.; LANA, A.M.Q.; MAURÍCIO, R.M.; LANA, R.M.Q.; MACHADO, R.M.; BORGES, I.; NETO, T.Q. Influence of trees on soil nutrient pools in a silvopastoral system in the Brazilian Savannah. **Plant and Soil**, v.329, n.2, p.185-193, 2009.

REZENDE, C.P.; CANTARUTTI, R.B.; BRAGA, J.M.; GOMIDE, J.A.; PEREIRA, J.M.; FERREIRA, E.; TARRÉ, R.; MACEDO, R.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; CADISCH, G.; GILLER, K.E.; BODDEY, R.M. Litter deposition and disappearance in *Brachiaria* pastures in the Atlantic forest region of the South of Bahia, Brazil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems.** v.54, n.2, p. 99–112, 1999.

RODRIGUES JÚNIOR, F. A.; VIEIRA, L. B.; QUEIROZ, D. M.; SANTOS, N. T. Geração de zonas de manejo para cafeicultura empregando-se sensor SPAD e análise foliar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 15, n. 8, p. 778-787, 2011.

SANCHES, L.; VALENTINI, C. M. A.; PINTO JÚNIOR, O. B.; NOGUEIRA, J. S.; VOURLITIS, G. L.; BIUDES, M. S.; SILVA, C. J.; BAMBI, P.; LOBO, F. A. Seasonal and interannual litter dynamics of a tropical semideciduous forest of the southern Amazon Basin, Brazil. **Journal of Geophisical Research**. v. 113, n. 4, p. 1-9, 2008.

SANCHES. L.; VALENTINI, C. M. A.; BIUDES, M. S.; NOGUEIRA, J. S. Dinâmica sazonal da produção e decomposição de serrapilheira em floresta tropical de transição. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 13, n. 2, p. 183-189, 2009.

SILVA NETO, S.P.; SANTOS, A.C.; LIMA LEITE, R.L.; DIM, V.P.; NEVES NETO, D.N.; DA CRUZ, R.S. Dependência espacial em levantamentos do estoque de

carbono em áreas de pastagens de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu**. Acta Amazonica.** v.42, n.4, p.547 - 556, 2012.

SILVA NETO, S.P. **Análise espacial de características químicas do solo, serapilheira e pasto em sistemas de integração com floresta secundária.** 2012. p. 13. Tese (Doutorado em Ciência Animal Tropical) – Universidade Federal do Tocantins, Araguaína – TO.

SILVA, C. J.; LOBO, F. A.; BLEICH, M. E.; SANCHES, L. Contribuição de folhas na formação da serrapilheira e no retorno de nutrientes em floresta de transição no norte de Mato-Grosso. **Acta Amazônica**. v. 39, n. 3, p.591-600, 2009.

SILVA, C. J.; SANCHES, L.; BLEICH, M. E.; LOBO, F. A.; NOGUEIRA, J. S. Produção de serrapilheira no Cerrado e Floresta de transição Amazônia-Cerrado do Centro-Oeste Brasileiro. **Acta Amazônica**. v. 37, n. 4, p.543-548, 2007.

SOUSA, L.F.; MAURÍCIO, R.M.; GONÇALVES, L.C.; SALIBA, E.O.S.; MOREIRA, G.R. Produtividade e valor nutritivo da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em um sistema Silvipastoril. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia.** v.59, n.4, p.1029-1037, 2007.

VICINI, L. **Análise multivariada da teoria à prática**. Santa Maria - RS: UFSM, Maria, 2005, 95 p. (CCNE).

VIEIRA, S. R.; GUEDES FILHO, O.; CHIBA, M. K.; MELLIS, E. V.; DECHEN, S. C. F.; DE MARIA, I. C. Variabilidade espacial dos teores foliares de nutrientes e produtividade da soja em dois anos de cultivo em Latossolo Vermelho. **Revista brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 5, p. 1503-1514, 2010.

VITOUSEK, P. M.; SANFORD, R. L. Nutrient cycling in Moist Forest. **Annual Review of Ecology and Systematics**. v. 17, n.2, p. 137-167, 1986.

WALL, A.J. **The effect of poplar stand density on hill country pastures**. PhD thesis. Massey University, Palmerston North, New Zealand. 2006.

WARRICK A.W.; NIELSEN, D.R. 1980. **Spatial variability of soil physical properties in the field**. In: HILLEL, D. (Ed.). *Application of soil physics.* New York: Academic Press. 319-344.

WEDDERBRUN, M.E.; CARTER, J. Litter decomposition by four functional tree types for use in silvopastoral systems. **Soil Biology and Biochemistry.** v. 31, n.3, p. 455 - 461, 1999.

WORSHAM, L.; MARKEWITZ, D.; NIBBELINK, N. Incorporating spatial dependence into estimates of soil carbon contents under different land covers. **Soil Science Society of America**, v. 74, n.2, p. 635-646, 2010.

XAVIER, D.F.; CARVALHO, M.M.; ALVIM, M.J.; BOTREL, M.A. Melhoramento da fertilidade do solo em pastagem de *Brachiaria decumbens* associada com leguminosas arbóreas. **Pasturas Tropicales**, v.25, n.1, p.23-26, 2011.

YAHDJIAN, L.; SALA, O.E.; AUSTIN, A.T. Differential controls of water input on litter decomposition and nitrogen dynamics in the Patagonian steppe. **Ecosystems**. v.9 n.1, p.128–141, 2006.

YANG, X.; YANG, Z.; WARREN, M.W.; CHEN, J. Mechanical fragmentation enhances the contribution of Collembola to leaf litter decomposition. **European Jounal Soil Biology.** v.53, n.2 p.23–31, 2012.

ZUK-GOLASZEWSKA, K.; UPADHYAYA, M.K.; GOLASZEWSKI, J. The effect of UV-B radiation on plant growth and development. **Plant soil environ**. v.49, n.3, p.135–140, 2003.

4.0 ABORDAGEM ESPACIAL E MULTIVARIADA DE CARACTERÍSTICAS AGRONÒMICAS E MORFOGÊNICAS DO PASTO EM SISTEMAS SOB INTEGRAÇÃO PECUÁRIA FLORESTA

RESUMO

Os Sistemas Silvipastoris (SSPs) podem ser alternativa para reincorporação de áreas ociosas, sob floresta secundária, ao processo produtivo pecuário. Estes sistemas causam modificações na fisiologia das plantas forrageiras, mas não se sabe as dimensões dos efeitos que a floresta de Babaçu (*Attalea speciosa*, Mart) pode ter nas características agronômicas e morfogênicas do capim Mombaça (*Panicum maximum* Jacq.). Ainda, pouco se compreende sob quais atributos, agronômicos e morfogênicos, seriam mais afetados por níveis de sombreamento moderado e alto em SSP e como ocorre a variabilidade espacial de tais características em função do sombreamento. Diante disso implantou-se dois SSP, integrando palmeira de Babaçu e capim Mombaça, com níveis de sombreamento moderado (30% - SSP 30) e alto (60% - SSP 60) e comparou-os com um sistema a Sol Pleno. O objetivo geral foi determinar efeitos do sombreamento moderado e alto, promovido por babaçu, sob a dinâmica de crescimento do capim Mombaça em sistemas integrados. Características agronômicas e morfogênicas do capim foram avaliadas em malha regular de coletas de pontos (90 pontos), distribuídos nos três sistemas, ao longo de sete ciclos de produção. Os dados foram submetidos as análises descritivas e multivariadas de componentes principais para determinar características de maior relevância nas distinção destes sistemas e que mais são afetas pelo sombreamento. As características de maior importância foram submetidas a análise de variabilidade espacial por meio da geoestatística para diagnóstico das áreas. Foi observado que os níveis de sombreamento moderado e alto alteraram os padrões morfofisiológicos do capim. Há dependência espacial dos atributos agronômicos e morfogênicos bem estruturada, que ocorre em função do sombreamento. Nos SSPs há menor taxa de acúmulo de MS de forragem por área e por unidade de tempo, menor perfilhamento, maiores taxas de alongamento de colmo e de folhas e menor senescência foliar. Estas são as características que mais servem para distinguir sistemas integrados e monocultivos. Acúmulo de foragem por perfilho, perfilhamento e alongamento de tecidos são muito afetados pelo sombreamento.
As evidências denotam que a formação de SSP com Babaçu e capim Mombaça é viável, mas há redução da produção forrageira a medida que eleva o nível de sombreamento.

Palavras chave: Sistema silvipastoril, recuperação de pastagens, capim mombaça, sombreamento, produção de forragem.

ABSTRACT

The silvopastoral systems (SPS) can be alternative to reincorporation of idle, secondary forest, the production process areas. These systems cause changes in the physiology of forage plants, but do not know the dimensions of the effects that forest babasu (*Attalea speciosa* Mart) may have on the agronomic characteristics and morphogenetic the Mombasa grass (Panicum maximum Jacq.). Yet, little is understood under what attributes, agronomic and morphogenesis, are more affected by moderate and high levels of shading in SPS and the spatial variability of these characteristics as a function of shading occurs. Therefore we constructed two SPS, integrating Babassu palm and grass Mombasa, with moderate levels of shading (30% - 30 SSP) and high (60% - 60 SSP) and compared them with a system to Full Sun. The overall objective was to determine effects of moderate and high shading, promoted by babassu forest, under the dynamic growth of the grass in Mombasa integrated systems. Agronomic characteristics and morphogenetic the grass were evaluated in regular grid of sampling points (90 points) from three different systems, over seven production cycles. The data were subjected to multivariate principal components to determine the most relevant features of these systems and the distinction that most are afetas by shading. The most important features were subjected to analysis of spatial variability using geostatistics.. It was observed that the levels of moderate and high shading morphophysiological altered the patterns of grass. There spatial dependence of agronomic and morphogenic well structured attributes, which is a function of shading. SSPs in there lower rate of forage DM accumulation per area and per unit time, less tillering, higher rates of elongation of stems and leaves and smaller leaf senescence. These are the features that serve to distinguish more integrated systems and monocultures. Accumulation of foragem per tiller, tiller and stretching of fabrics are greatly affected by shading. Evidence denote that the formation of SPS with Mombasa grass and palm babassu is feasible.

Key words: Silvipastoral system, recovery of pasture grass Mombasa, shading, forage production.

4,1 INTRODUÇÃO

O manejo inadequado das pastagens cultivadas no ambiente Amazônico tem provocado o definhamento de muitos sistemas de exploração em pastagem. A negligência da fisiologia e características morfogênicas das gramíneas forrageiras, bem como da restituição de nutrientes exportados dos solos, são agressões ao ambiente de produção que culminam na degradação da forrageira e do solo, provocando erosão, assoreamento e o abandono de áreas degradadas.

Nas áreas degradadas abandonadas ocorre o processo de restauração natural da vegetação, dando origem as florestas secundárias ou capoeiras. No Tocantins estima-se que 15% das áreas abertas são constituídas por florestas secundárias, de caráter ocioso. Para a Amazônia Legal a estimativa é de 24% (INPE 2009). Estas áreas são passíveis de formar Sistemas Agroflorestais (SAFs), podendo ser reincorporadas ao processo produtivo de forma sustentável, devido seus princípios agroecológicos (SOUSA et al., 2007), podendo mitigar o desmatamento.

Os SAFs relacionam-se ao cenário de degradação das pastagens por suas propriedades restauradoras de ambientes antropizados mal geridos e características conservacionistas. Dentre as modalidades de sistemas agroflorestais os sistemas silvipastoris (SSP) apresentam-se como opção viável a pecuária nos trópicos úmidos por sua filosofia de reunir, na mesma área, espécies arbóreas/arbustivas produtivas, gramíneas forrageiras nativas ou cultivadas e animais herbívoros, visando a produtividade vegetal e animal e a preservação do ambiente (SCHROTH et al., 2004 apud VOUDOUHE, 2011; KYRIAZOPOULOS et al., 2012). Ainda, os SSP, estão incluídos em programas mundiais de desenvolvimento sustentável e seqüestro de gases do efeito estufa (GEEs) (MÜLLER et al. 2009) e também em programas de governo federal, no que se refere a liberação de recursos para pesquisa e desenvolvimento e fomento ao agronegócio, de acordo a lei nº 12.805, de 29 de abril de 2013, que institui a política nacional de integração lavoura-pecuária-floresta.

A gramínea forrageira escolhida para compor o SSP é um dos fatores de maior relevância. Segundo Oliveira et al. (2013), gramíneas do gênero *Panicum maximum*, como os cultivares Tanzânia e Mombaça, toleram o sombreamento médio (moderado), entre 30 a 50%. Em seus estudos os autores não observaram

efeito do sombreamento, a um nível de até 50%, sobre o crescimento e a produção do capim Tanzânia e inferiram que adaptações morfológicas, como o aumento do alongamento foliar, possibilita a conservação da produção. Tais informações abrem espaço para a investigação do efeito de níveis de sombreamento superiores a 50% em cultivares de *Panicum maximum*, que são cultivados em extensas áreas de sistemas pecuários extensivos no norte do país, como o capim Mombaça.

Os SSP podem afetar drasticamente a produção e a morfogênese das gramíneas do sub-bosque, já que o processo de adaptação ao sombreamento implica em ajustes morfofisiológicos (OLIVEIRA et al., 2013). A morfogênese, definida como a dinâmica de geração e expansão da forma da planta no espaço, pode ser influenciada por fatores do meio ambiente, como o sombreamento, que altera as taxa de aparecimento (organogênese), a expansão de novos órgãos e de sua senescência (LEMAIRE et al. 2009), por haver a produção de células menos compactadas, em menor número, tamanho e volume, bem como uma menor taxa fotossintética. No manejo do dossel é preciso gerenciar o aparecimento de folhas e o pastejo animal. Nos SSPs esta relação torna-se mais complexa, havendo a necessidade de se manejar a luz (BELESKY et al. 2011).

Os processos fisiológicos de divisão, expansão e maturação celular dependem da importação de fotoassimilados sintetizados pela fotossíntese ou de reservas orgânicas, logo, estratégias de manejo ambiental que alterem a produção de fotassimilados, como a redução da radiação fotossinteticamnte ativa, também afetam a morfogênese, e, portanto, o acúmulo de forragem (ALEXANDRINO et al., 2011; OLIVEIRA et al., 2013). Desta forma, estudos morfogênicos de gramíneas sombreados podem ser úteis para o entendimento da dinâmica do acúmulo de forragem em SSP, já que o sucesso na utilização de pastagens em sistemas silvipastoris depende da compreensão dos mecanismos morfofisiológicos e de sua interação com o ambiente e do manejo (ARAUJO et al., 2011).

Na literatura científica, apesar das informações sobre os efeitos do sombreamento na morfogênese de gramíneas forrageiras, existem lacunas (OLIVEIRA et al., 2013) sobre quais taxas de crescimento são mais afetadas sob os níveis de sombreamento moderado e alto, impostos por floretas secundárias

de babaçu. Ainda, a variabilidade espacial das caraterísticas morfogênicas em função do sombreamento é pouco compreendida, o que requer estudos de caráter multivariado e geoestatístico.

Apesar da diversidade dos estudos com sombreamento, há necessidades de pesquisas sob parâmetros produtivos (SILVA et al., 2007), e quais destes são mais afetados por niveis de sombreamento moderado e alto, além de qual o comportamento agronômico de gramíneas forrageiras ao sombreamento imposto por babaçu no norte do Brasil. Além disso, também pouco se conhece sobre a variabilidade espacial das caraterísticas de produção de forragem em função do sombreamento.

Diante das lacunas acerca de como ocorre as variações espaciais na produção e nas taxas morfofisiológicas de gramíneas forrageiras em áreas sob diferentes níveis de sombreamento, e quais parâmetros do crescimento e produção são mais afetados pela sombra, conduziu-se este estudo. Ainda, o ensaio buscou avaliar a formação de SSP em áreas de floresta secundária de babaçu, reinserindo-as no processo de produção em pastejo. Também buscou avaliar os efeitos de níveis de sombreamento moderado e alto sobre o crescimento do capim Mombaça sob áreas de babaçuais, comparando-os com um sistema convencional a sol pleno.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Localização

As áreas utilizadas localizam-se na fazenda da Escola de Medicina Vetrinária e Zootecnia da Universidade Federal do Tocantins, Campus de Araguaína –TO, entre os paralelos 9213700 e 9213900 UTM-NS e meridianos 810500 e 810780 UTM-EW. De acordo com a classificação Köppen (1948) o clima da região é classificado como Aw (quente e úmido) com precipitações anuais médias de 1800 mm, temperaturas máximas de 40ºC, mínimas de 18ºC e média de 28ºC. A umidade relativa do ar média anual é de 76%. Em solo classificado, de acordo com o SiBCS (Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – EMBRAPA, 2006), como Argissolo Vermelho Eutrófico, foram implantadas pastagens integradas (Babaçu e capim Mombaça) e pastagem sob monocultivo (capim Mombaça).

Os atributos físico-químicos do solo por ocasião de pré-implantação das pastagens (Agosto de 2011) são apresentados na Tabela 1. Uma área sob floresta secundária de babaçu originou os sistemas integrados floresta-pasto. Uma capoeira rala originou a pastagem em monocultivo.

Tabela 1. Características químicas e físicas de Argissolo Vermelho eutrófico sob floresta secundária, capoeira em estado de revegetação natural e floresta nativa. Atributos avaliados na camada de 0 – 20 cm de profundidade.

Áreas	MO(1)	pH	P	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	H^+Al^{3+}	Al^{3+}	SB(2)	CTC(3)	CTC(4)
	g dm^{-3}	$CaCl_2$	---mg dm^{-3}---		------ $cmol_c$ dm^{-3}-----				-----$cmol_c$ dm^{-3}-----		
CP	28,33	5,49	11,87	66,02	9,02	1,95	2,23	0,0	11,14	13,37	11,14
FS	35,82	5,06	15,24	60,54	9,40	2,42	3,78	0,0	11,97	15,75	11,97
FN	30,30	5,10	20,56	62,12	10,61	2,64	4,92	0,0	13,40	18,32	13,40

	V(5)	m(6)	Dens. Ap.(8)	Areia	Silte	Argila	Clas. Text.(9)
	----------%----------		g cm^{-3}	----------%----------			
CP	83,61	0,00	1,06	51	11	38	Argi Aren
FS	79,53	0,00	0,98	53	9	38	Argi Aren
FN	85,13	0,82	0,96	42	12	36	Argi Aren

CP: capoeira; FS: floresta secundária; FN: floresta nativa. (1) MO: matéria orgânica, SB(2): soma de bases; CTC(3): capacidade de troca de cátions pH 7; CTC(4): capacidade efetiva de troca de cátions, (5) V: saturação por bases, (6) m: saturação por alumínio, (8) Dens. Ap.: densidade aparente, (9) Clas. Text.: classe textural. Argi Aren: Argila Arenosa.

4.2.2 Preparo das áreas

A área total (SSPs e Sol Pleno) tem histórico de abertura de mais de 25 anos, com uso de fogo e posterior implantação de pastagem cultivada, não adubada e não manejada. Parte da área foi abandonada logo após degradação do pasto, dando origem a uma floresta secundária com forte presença da palmeira Babaçu (*Attalea speciosa*, Mart) em sua composição florística. A outra parte da área foi utilizada até o ano de 2005, sendo também abandonada, dando origem a capoeira rala.

Nas áreas sob floresta de Babaçu foram estabelecidos dois sistema de integração pastagem-floresta, caracterizando dois sistemas silvipastoris (SSP) com as espécies arbóreas nativas (Babaçu) e a gramínea capim Mombaça (*Panicum maximum* Jacq.). Estas áreas foram raleadas manualmente, preservando-se as palmeiras. Uma primeira área foi raleada até obter-se 60% de sombreamento, dando origem ao SSP 60, (nível alto de sombra) considerado excessivo (PACIULLO et al., 2011; GUENNI et al., 2008). Já uma segunda área foi raleada até obter-se 30% de sombreamento, (nível moderado de sombra) (OLIVEIRA et al., 2013) dando origem ao SSP 30. No preparo destas áreas foi realizado o desbaste manual das espécies arbóreas cocorrentes com o babaçu de forma aleatória. Para isso utilizou-se machado e moto-serra. Também foi realizada a destoca (remoção da base dos caules das árvores) das áreas. A biomassa suprimida foi removida das áreas.

O ajuste do sombreamento de cada área foi realizado a partir da tomada da medida de iluminância (Lux) com o auxílio do luxímetro, modelo LD 200 *Instrutherm*. Estas medições foram realizadas em 50 pontos georreferenciados dentro de cada SSP em malha (grid) construída de forma equidistante e representativa (8 x 8), que também serviu para a coletas dos dados analisados na forrageira (Figura 1a). As leitura de luz foram realizadas entre as 11:30 am e 13:00 pm, com sol a pino, sendo comparadas com leituras a sol pleno (SP). A partir destas mensurações foi calculada a porcentagem de sombreamento em cada área, sendo: 100-{(leitura no SSP/leitura SP)*100}. As leituras ocorreram durante o processo de abertura das áreas (raleamento), orientando a necessidade ou não de remoção de árvores em zonas distintas, após a abertura e limpeza

completa das áreas e periodicamente (em média a cada dois meses) durante o período experimental.

A área com capoeira foi roçada e tratada com herbicida (Glifosato®), dando origem ao sistema convencional de produção em pasto: Sol Pleno (monocultivo), onde não havia a existência de árvores. A biomassa suprimida foi removida da área. As dimensões de cada área (sistema) foram: Sol Pleno: 6.500 m², SSP 30: 7.042,2 e SSP 60: 7.526,2 m².

A disposição dos sistemas, o grid de coleta das características mensuradas e os níveis de sombreamento estão apresentados na Figura 1 A e B.

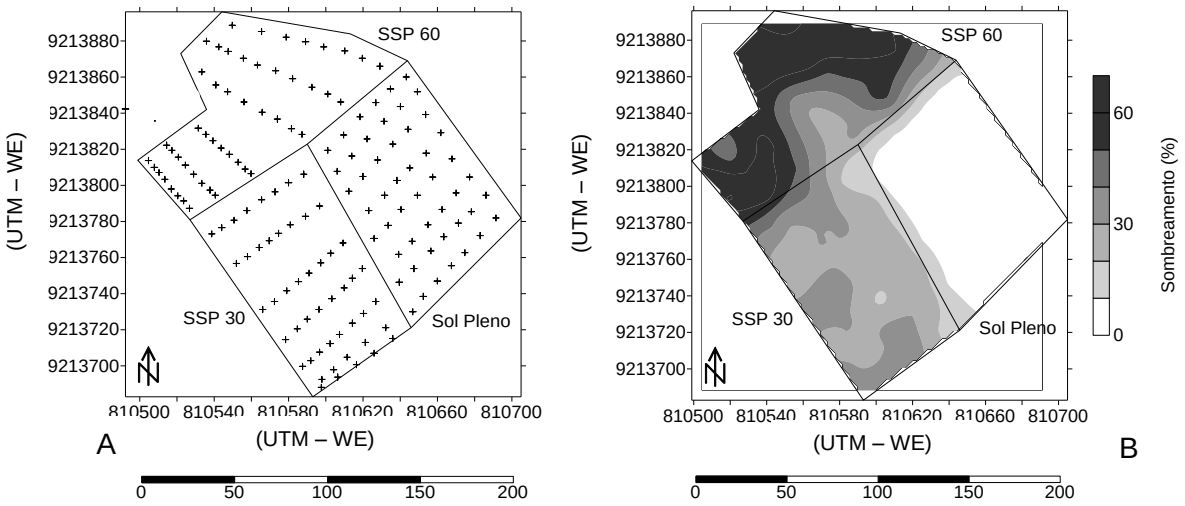


Figura 1. Mapa de contorno e disposições das áreas e da malha de coletas de dados (a) e mapa de isolinhas dos níveis de sombreamento (b) nos sistemas de integração floresta-pasto SSP 60, SSP30 e Sol Pleno.

As condições climáticas dos sistemas (Tabela 1), ao longo do período experimental foram monitoradas com estação meteorológica portátil modelo Tycon Tp-1080wc Pro Weatherstation – R, durante os meses de maio de 2012 e janeiro de 2013. Os dados climáticos avaliados foram: umidade relativa do ar (%), temperatura (ºC), pressão atmosférica (Hpa), velocidade do vento (m/s), rajadas de vento (m/s), vento frio (ºC) e precipitação (mm).

As informações meteorológicas foram coletadas a cada cinco minutos e armazenadas no *data logger* da estação. Diariamente eram registrados 288 dados de cada característica meteorológica avaliada. Estes dados compunham médias diárias. Os dados individuais diários, por sua vez, compuseram médias semanais (Tabela 1).

Tabela 1. Valores médios semanais de condições climáticas da área total experimental sob monocultivo de capim Mombaça (Sol Pleno – SP) e sistema agroflorestal com 30 e 60% de sombreamento (SSP 30 e SSP 60) ao longo de oito ciclos de avaliação.

Mês	Semana	Umidade (%)	Temperatura (ºC)	Pressão absoluta (Hpa)	Velocidade do Vento (m/s)	Rajada de vento (m/s)	Vento frio (ºC)	Chuva/semana (mm)
Mai	1º	72,33	25,6	986,3	0,73	1,6	24,4	4,0
Mai	2º	80,33	25,3	986,7	0,76	1,6	24	32,7
Mai	3º	74,66	25,4	987,9	0,66	1,2	23	39,6
Mai	4º	75,66	25,4	987	0,55	1,4	19,6	25
Jun	1º	78	25	986,3	0,52	1,2	22,2	19,5
Jun	2º	75	25,2	985,3	1	1,6	25,1	6,0
Jun	3º	77	24,2	987,3	0,7	1	21	8,7
Jun	4º	72,6	24,8	986,3	0,66	1,3	18,5	11.4
Set	1º	53,75	26,3	986,6	0,86	2,2	25,7	0,0
Set	2º	54,33	27,2	985	0,73	1,8	21,4	0,0
Set	3º	61,33	27	984	0,73	1	22,4	59
Set	4º	55	26,9	985	0,76	1,6	19,9	59
Out	1º	63,6	26,7	983,6	0,66	1,2	21,9	19
Out	2º	80	25,4	983,3	0,73	1,4	22,6	121
Out	3º	72	26,8	983,3	0,7	1,2	22,2	19
Out	4º	72	26,3	984	0,7	1,3	21,6	142
Nov	1º	66,01	22,18	817,47	0,51	1,41	21,66	35,32
Nov	2º	82,45	26,08	970,14	0,44	1,29	25,37	96,34
Nov	3º	85,73	25,62	971,04	0,66	1,79	25,55	103,99
Nov	4º	78,06	24,63	919,55	0,53	1,5	24,19	78,55
Dez	1º	86,7	26,62	980,41	0,86	2,12	25,42	14,3
Dez	2º	91,31	25,81	981,7	0,62	1,66	25,63	23,85
Dez	3º	87,65	25,19	983	0,52	1,4	24,78	32,33
Dez	4º	82,56	25,16	946,19	0,59	1,59	24,66	29,66
Jan	1º	92,63	23,82	982,31	0,18	0,91	23,58	47,24
Jan	2º	89,12	26,21	986,13	0,8	1,93	25,84	46,72
Jan	3º	91,12	26,4	987,33	0,68	1,71	25,97	49,52
Jan	4º	97,02	25,39	986,39	0,11	0,64	25,16	80,3
Fev	1º	83,3	24,7	983	0,8	1	22,8	155
Fev	2º	82	25,5	984	0,7	1,2	23,4	34
Fev	3º	81,3	25,6	983	0,76	1,2	22,4	10
Fev	4º	83,3	25,3	983	0,76	1,2	21,9	66

Fonte: Autor

4.2.3 Correção, adubação e plantio

Na área total do referido estudo, excetuando-se a floresta nativa, após realizado o diagnóstico inicial da condição química do solo (Tabela 1), foi efetuado o manejo de adubação para implantação da forrageira. Assim, foi distribuído o equivalente a uma tonelada ha^{-1} de calcário dolomítico nas áreas sob integração e sol pleno, com antecedência de 60 dias ao plantio do capim, já que as áreas integradas encontravam-se próximas a condição de potencial de carga zero (pH em H_2O = pH em CaCl), além de servir para homogeneizar a saturação por bases. Ainda foram aplicados, antes do plantio do capim, 120 kg de potássio (K - KCl), para elevar o teor de K entre 80 – 120 mg dm^{-3} (classificação agronômica: Bom) e 100 kg de fósforo (P – superfosfato simples) para elevar os valores de P

entre 20 e 30 mg dm^{-3} (classificação agronômica: Muito Bom). A duabação adotada, excedente a recomendação, também foi empregada devido a condição de equilíbrio das cargas do solo (potencial de carga zero)

A adubação nitrogenada foi de 100 kg ha^{-1}de nitrogênio (N – ureia), independente da área, realizada na fase de estabilização (cobertura) da gramínea conforme recomendação de Collier et al. (2008), quando as plantas se encontravam com 5 a 8 perfilhos e de 2 a 3 folhas expandidas $perfilho^{-1}$. Corretivos e fertilizantes foram distribuídos manualmente, sem incorporação. Não houve revolvimento do solo. Não houve adubação de manutenção.

A gramínea implantada em todos os sistemas foi o capim Mombaça. O plantio, em novembro de 2011 foi realizado de forma manual, a taxa de semeadura de 7 kg ha^{-1} de sementes puras viáveis. Em março de 2012 foi realizado o primeiro corte de uniformização dos sistemas, que deu início as coletas de dados das características agronômicas e morfogênicas. As mensurações ocorreram de maio de 2012 a fevereiro de 2013, não sendo avaliados os meses de julho e agosto de 2012. Nos ciclos dos meses referentes a maio, junho, setembro e outubro de 2012, as mensurações ocorreram nos pontos do grid (50 pontos por área, totalizando 50 repetições por ciclo).

Nos meses de novembro e dezembro de 2012 e janeiro de 2013 as áreas Sol Pleno, SSP 30 e SSP 60 foram utilizadas para avaliação de desempenho de ovinos, sendo, neste período, as avaliações agronômicas e morfogênicas realizadas em gaiolas de exclusão (6 gaiolas por área, totalizando 6 repetições por ciclo). Neste período as coletas no grid serviram para determinação da condição do pasto, enquanto que as coletas nas gaiolas serviram para determinação do acúmulo e crescimento da forrageira.

4.2.4 Avaliações agronômicas e estruturais

As avaliações agronômicas constaram de mensurações do acúmulo total de biomassa, dos acúmulos de massa de folhas, de colmo e de material senescente, da contagem do número de perfilhos (NP), e da medição de alturas e do IAF (método destrutivo). Estas medidas foram tomadas em tempo fixo, com intervalo de 28 dias, haja vista a necessidade de se determinar o acúmulo de material por unidade de tempo. Assim, a cada ciclo de 28 dias foi realizado corte mecânico

dos pastos a altura de 20 cm. Na 1º fase do estudo as coletas ocorreram nos pontos do grid, na ocasião do corte de todas as áreas. Na 2º fase as coletas ocorreram nas gaiolas de exclusão e a avaliação da condição do pasto, mantido a altura de 50 cm (pastejo contínuo) ocorreram nos pontos do grid.

A mensuração das características da forrageira foi realizada em 50 pontos da malha do grid de cada sistema. Foi usada moldura retangular de amostragem de 1 m² (67 x 150 cm), de modo a produzir amostras independentes e representativas de todas as regiões das áreas. As coletas foram realizadas por meio de cortes a altura de 20 cm do solo. No material obtido foram separadas as frações folhas, colmo e material senescente A contagem do número de perfilhos, também avaliados em 30 pontos, foi realizada com moldura de 0,15 m² (0,15 x 100 cm). As alturas foram determinadas do solo até as curvaturas das folhas com régua graduada (altura do dossel).

A partir dos dados coletados foram determinados, em laboratório: % de MS de folha; % de MS de colmo; acúmulo de MS de folha ciclo-¹; acúmulo de MS de colmo ciclo-¹; acúmulo de MS de MM ciclo-¹; acúmulo de MS Total (folha + colmo + MM) ciclo-¹; relação folha:colmo (F/C); densidade de forragem; massa por perfilho e razão de área foliar. A densidade de forragem foi calculada dividindo a massa de forragem de 1 m² pela altura. O peso por perfilho foi obtido pela divisão da biomassa total contida em 1 m² pelo NP desta área. A razão de área foliar (RAF) foi determinada como o produto da divisão da área foliar pela MS Total. A área foliar específica (AFE) foi determinada como produto da divisão da área foliar pela massa seca de lâmina foliar. Estas avaliações foram realizadas durante sete ciclos de produção.

4.2.5 Avaliações morfogênicas

As avaliações morfogênicas na primeira fase do ensaio (grid) foram realizadas em 50 perfilhos marcados na malha de coleta de cada sistema, sendo um perfilho em cada ponto georreferenciado. Na segunda fase do ensaio (gaiolas e pastejo) os perfilhos avaliados foram contidos pelas gaiolas, havendo a mensuração de 5 perfilhos por gaiola de exclusão. A cada ciclo foram selecionados novos perfilhos de mesmo estado fisiológico. As mensurações constaram de medições no número de folhas expandidas e em expansão, do

comprimento das lâminas foliares, do comprimento das hastes (colmo + bainha) e do comprimento de lâminas foliares senescidas, conforme Araujo et al. (2011). Folhas completamente expandidas foram medidas da lígula até o ápice e folhas emergentes (em expansão), medida da lígula da última folha completamente expandida do perfilho até seu ápice. Estas medições eram realizadas no início de cada ciclo, 5 dias após o corte de uniformização e mais duas vezes a intervalos de 10 dias. Estas avaliações foram realizadas durante sete ciclos de produção.

A partir das informações morfogênicas coletadas à campo foi calculado: taxa de alongamento de lâminas foliares (TAlF), que representa o incremento no comprimento total de lâminas foliares em um perfilho durante o período de avaliação, expressa em mm perfilho^{-1} dia^{-1}. Comprimento final das folhas (CFiF), obtido diretamente da mensuração de folhas expandidas (avaliado sempre na segunda folha completamente expandida). A partir da diferença do número de folhas expandidas surgidas foi calculada a taxa de aparecimento foliar (TApF), expressa em folhas perfilho^{-1} dia^{-1} e o número de folhas aparecidas (NFApar). Em função do intervalo de dias entre o surgimento de duas folhas expandidas foi calculado o Filocrono, expresso em dias folha^{-1}.

A taxa de senescência foliar (TSF) foi estimada como a diferença entre o comprimento total de lâmina foliar, ao tempo da primeira medição e segunda medição, e sua porção ainda verde ao final do período de avaliação, expressa em mm perfilho^{-1} dia^{-1}. Pela diferença entre o número de folhas existente perfilho^{-1} ao final do período de avaliação em relação ao início foi calculado o número de folhas vivas (NFV). Pela razão entre o número de folhas surgidas e a TSF foi determinado o número de folhas mortas (NFM).

A Taxa de Alongamento de Colmo (TAlC), que representa o aumento no comprimento de pseudocolmo de um perfilho, foi medida como a diferença da altura do solo até a lígula da primeira folha expandida do perfilho, entre o final e o início do período de avaliação, expressa em mm perfilho^{-1} dia^{-1}.

Amostras de lâminas foliares expandidas e em expansão, e do colmo, obtidas na colheita coleta agronômica foram medidas (mm), secas e pesadas, a fim de se determinar seus respectivos fatores gravimétricos (g mm^{-1}) (ALEXANDRINO et al., 2011). Estes fatores serviram para transformar as estimativas de alongamento de lâmina foliar e de colmo em incrementos de

massa (g perfilho^{-1} dia^{-1}). Os dados de senescência geraram as informações de perdas de massa. Desta forma, foi determinado o Acúmulo de MS de folha perfilho^{-1} dia^{-1}; Acúmulo de MS de colmo perfilho^{-1} dia^{-1}; Acúmulo de MS de MM perfilho^{-1} dia^{-1}; Acúmulo de MS Total (folha + colmo + MM) perfilho^{-1} dia^{-1}.

A partir dos índices gravimétricos de folhas e colmo ainda pôde-se estimar a Taxa de acúmulo de MS Folha m^{-2} dia^{-1}: TAc MS Fol m^{-2} dia^{-1} = (TAlF x IGF x NP) – (TSF x IGMM), sendo expressa em g m^{-2} dia^{-1}, onde IGF é o índice gravimétrico de lâminas foliares emergentes e IGMM é o índice gravimétrico de material morto (folha adulta); Taxa de acúmulo de MS Colmo m^{-2} dia^{-1}: TAc MS Col m^{-2} dia^{-1} = (TAlC x IGC x NP), sendo expressa em g m^{-2} dia^{-1}, onde IGC é o índice gravimétrico de colmo; Taxa de acúmulo de MS Total (folha + colmo) m^{-2} dia^{-1}: TAc MS Total m^{-2} dia^{-1} = ((TAlF x IGF) + (TAlC x IGC) x NP) – (TSF x IGMM).

4.2.6 Estatística

4.2.6.1 Análises descritivas e multivariadas

Os dados das diversas características agronômicas e morfogênicas oriundos dos pontos da malha de coleta, obtidos ao longo dos sete ciclos de avaliação foram submetidos a análise descritiva e multivariada de componentes principais (ACP). Foram utilizados 30 pontos da malha original de cada área, totalizando 90 pontos georreferenciados nas três áreas de estudo. Cada ponto (coordenanda) foi identificado com código sobre a qual área e qual ciclo pertenciam. Estes pontos foram arranjados de forma independente em matriz de relação pontos-variáveis.

Uma matriz de pontos-variáveis codificada para sistemas (3 sistemas x 30 pontos) e ciclos (7 ciclos), composta por 630 observações de caráter agronômico e morfogênico, foi submetida a análise de componentes principais (ACP) para determinação de novas variáveis, em número reduzido, que explicassem a maior parte das diferenças entre as áreas e que elucidasse quais características mais influenciavam na formação de componentes, ao longo dos sete ciclos, que se mostraram diferentes em função dos sistemas de manejo (SSPs e monocultivo). Desta forma, pôde-se evidenciar quais fatores, agronômicos e morfogênicos, são mais afetados pelo sombreamento.

Ainda foi determinada a influência de cada variável real nos componentes gerados pela matriz de correlação existente entre os dados e os autovetores. Foram considerados úteis os componentes principais com autovalores superior a 1 ou que conjuntamente explicavam mais de 70% da variação existente entre os sistemas (MARDIA et al., 1979). O efeito do sombreamento foi tratado como um suplemento da ACP, que permitiu identificar quais características são mais influenciado por este. Este processo permitiu identificar quais características mais contribuem para diferenciação das áreas.

4.2.6.2 Análises geoestatísticas

A partir dos componentes principais formados extraíram-se as variáveis de maior relevância dentro dos sistemas e submeteu-as a uma análise geoestatística. Os dados georreferenciados das variáveis agronômicas e morfogênicas mais influentes, oriundo dos sete ciclos, compuseram uma média geral por ponto e foram submetidos a análise descritiva e exploratória dos dados. Foram calculados a média, mediana, moda, máximo, mínimo, coeficientes de variação, assimetria e curtose, e a semivariância, donde se determinou a aptidão dos dados para serem processados pela análise geoestatística (SILVA NETO et al., 2012).

A análise da semivariância determinou a distribuição espacial das variáveis na área como um todo, mas em função dos sistemas, e foi mensurada por meio da construção de semivariogramas. A variabilidade de cada parâmetro foi determinada por meio da construção de seu respectivo semivariograma. Os semivariogramas foram ajustados a modelos matemáticos teóricos – esférico, exponencial, linear e gaussiano – em função da nuvem de pontos (SILVA NETO et al., 2012), para definição dos valores do efeito pepita (C_0), do alcance (A) e do patamar ($C + C_0$) e posterior interpolação

O padrão de dependência espacial foi calculado pela semivariância e autocorrelação em função da distância γ(h) (MATHERON, 1963), através da equação:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

em que: N(h) é o número de pares de valores medidos Z(xi), Z(xi+h), separados pela distância h, (Vieira et al., 1983). O gráfico de γ*(h) versus os valores correspondentes de h, é uma função do vetor h, e, portanto depende de ambos, magnitude e direção de h.

A seleção do modelo teórico em função das variâncias reais foi realizada observando-se a soma do quadrado dos resíduos (SQR), o coeficiente de determinação (R^2), e o maior grau de dependência espacial (GDE). Os valores da semivariância e ajuste aos modelos, bem como sua precisão, foram determinados pelo software GS+ (ROBERTSON, 1998),

Para análise do grau de dependência espacial (GDE) das variáveis agronômicas e morfogênicas do solo foi utilizada a relação $C/(C + C_0)$, classificada segundo Robertson (1998) como forte (GDE ≥ 0,75), moderada (0,25 ≤ GDE < 0,75) e baixa dependência (GDE < 0,25). A equação do GDE utilizada foi:

$$GDE = \left[\frac{C}{C + C_0}\right] 100$$

Após o ajuste dos semivariogramas os dados foram submetidos diretamente à interpolação pelo método da krigagem, considerando a distância e a variância entre pontos vizinhos para a geração de valores de todas as características avaliadas em locais não amostrados.

O resultado do diagnóstico das diferentes características foi expresso na forma de mapas de isolinhas, e a maneira de localizar uma isolinha entre dois pontos foi determinada pela interpolação dos dados, por meio de krigagem ordinária (LANDIM, 2006). Foi utilizado o software Surfer 8.0 (GOLDEN SODTWARE, 2002) para manipulação e visualização da distribuição espacial, por meio da construção dos mapas, de acordo com as coordenadas geográficas. A análise e os mapas foram feitos tratando-se a área estudada como um todo, sem a divisão por sistema.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1 Respostas das avaliações descritivas e multivariadas

4.3.1.1 Atributos agronômicos

Os valores médios, por ciclo, das características agronômicas do capim Mombaça cultivado nos sistemas silvipastoris SSP 60, SSP 30 e a Sol Pleno, ao longo de sete ciclos, são apresentados na Tabela 2a. De modo geral, a produção média de forragem das áreas sombreadas foi inferior a média da área a Sol Pleno. O sombreamento promoveu redução do crescimento, sendo este efeito mais notável no nível de 60%.

Os acúmulos de MS de folha, MS de colmo e MS de material morto foram reduzidos nos SSPs, em parte, porque nestas áreas as plantas apresentavam menor teor médio de massa seca. Koukoura et al. (2009), trabalhando com sombreamento de gramíneas sob os níveis de 50 e 90% de sombreamento também observaram redução da produção de forragem, embora a parte área tenha sido beneficiada em relação a raiz. A redução da produção neste ensaio pode ser atribuída basicamente ao efeito do sombreamento, já que Belesky et al. (2011) afirmam que em SSPs com adequadas condições de temperatura e umidade do solo, fato verificado neste experimento, os efeitos sob a forrageira é devido a sombra.

No SSP 60 houve redução da produção de até 90% em relação a algumas zonas da área à Sol Pleno. Na área de SSP 30 a redução foi de aproximadamente 60%. Esta significativa redução era esperada em menor frequência, haja vista que as condições de fertilidade do solo não propiciavam a competição interespecífica forragem-floresta e a literatura documenta que o capim mombaça é resistente a aproximadamente 50% de sombreamento. Ainda, a radiação global incidente no norte do Tocantins é de aproximadamente 5,95 KWh/m², enquanto que na região sul e sudeste este valor e de aproximadamente 5,6 KWh/m² (PEREIRA et al., 2006). Estes valores sugerem que o sombreamento adotado nas regiões próximas ao plano equatorial poderiam ser maiores que aqueles documentados na literatura científica de trabalhos do sul do país, mas

isto não foi confirmado. Kyriazopoulos et al. (2012) também observaram redução da produção de gramíneas e leguminosas da ordem de 46 e 73% a menos em ambientes com 60 e 90% de sombreamento. Atribuíram o ocorrido a redução da atividade do aparato fotossintético em função da redução da radiação.

O perfilhamento médio das plantas também foi reduzido nas áreas sombreadas. Observou-se redução de 53% na área SSP 30 e de 69% na área de SSP 60. Esta menor densidade populacional de perfilhos promoveu a redução da densidade de forragem nos sistemas SSPs em relação a Sol Pleno, situação também influenciada pela menor massa por perfilho, já que os perfilhos nos sistemas SSP 30 e SSP 60 possuíam menor massa de folha e colmo. Belesky et al. (2011) observaram que perfilhos de gramíneas sob 40 e 80% de sombreamento por Carvalhos eram mais finos. Observaram que a taxa de aparecimento de perfilho e o acúmulo de MS perfilho^{-1} reduziram-se linearmente a medida que se aumentou-se o sombreamento e atribuíram o resultado a pior qualidade da luz sob a sombra.

Os menores acúmulos de MS lâminas foliares (LF) nos sistemas SSP promoveram valores médios de IAF abaixo daqueles observados à Sol Pleno. Os menores valores de LF nos SSPs foram resultado dos maiores valores de RAF nestas áreas. Nos SSPs foi necessária uma maior área fotossínteticamente ativa por unidade de massa (g) sintetizada. Kyriazopoulos et al. (2012) também reportam que em SSPs as gramíneas elevam sua RAF e reduzem seu peso foliar específico. Isto foi constatado pela AFE, onde observou-se que as plantas sombreadas possuíam maior unidade de área (cm^2) por unidade de massa (g), evidenciando a condição de folhas mais delgadas. Esta menor eficiência se refletiu em produção de biomassa reduzida nos SSPs.

A redução da produção de biomassa em ambientes sombreados ocorre quando a radiação luminosa do ambiente sombreado é inferior ao ponto de compensação lumínico (OLIVEIRA et al., 2013), ou seja, aquele necessário para permitir apenas a manutenção das reações químicas basais do metabolismo celular, sem permitir o crescimento (acúmulo de biomassa).

Em relação aos dois níveis de sombreamento pode-se observar que o SSP 60 afetou mais o acúmulo de forragem, o perfilhamento e as características estruturais do pasto do que SSP 30, havendo menor produção em relação a Sol

Pleno. A grande redução da produção da forrageira nos SSPs em relação a Sol Pleno pode ser resultado do primeiro ano de implantação dos sistemas, sendo que a completa estabilização, nos anos posteriores, pode elevar a produtividade, assim como observado por Kyriazopoulos et al. (2012). A estabilização da pastagem em sistemas integrados, como os do presente estudo, pode ser retardada pela redução do perfilhamento em função do déficit de luz, que não ativa gemas basilares e da necessidade de maior tempo de aclimatação das plantas.

Tabela 2a. Médias por ciclos de atributos agronômicosdo capim Mombaça cultivado em sistema de monocultivo (Sol Pleno – SP) e sistema agroflorestal com 30 e 60% de sombreamento (SSP 30 e SSP 60) ao longo de sete ciclos de avaliação.

Sistemas	SP							SSP 30							SSP 60						
Ciclos	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º
Variáveis																					
%MS Folha	23,5	28,4	29,2	21,3	19,3	18,3	21,6	22,1	26,0	25,1	17,9	17,8	17,7	17,6	21,0	25,0	23,7	18,1	16,6	18	19,6
Ac Col Perf-^{1}	0,047	0,033	0,064	0,024	0,056	0,032	0,021	0,037	0,019	0,052	0,026	0,018	0,027	0,02	0,026	0,015	0,009	0,019	0,021	0,015	0,012
Ac Fol Perf-^{1}	0,32	0,17	0,39	0,28	0,41	0,34	0,3	0,3	0,2	0,32	0,28	0,24	0,27	0,17	0,03	0,19	0,32	0,27	0,19	0,18	0,2
%MS Colmo	18,5	34,7	21,5	15,15	13,98	14,21	14,85	15,98	29	21,8	13,27	13,21	14,3	13,35	14,33	20,1	20,98	12,45	11,66	12,3	12,41
Ac Fol ciclo-^{1}	3,9	1,73	1,16	1,3	2,19	2,99	1,99	1,18	0,49	1,16	0,7	0,9	1,12	1,06	0,87	0,28	0,46	0,53	0,56	0,27	0,55
Ac Col ciclo-^{1}	0,69	0,07	0,04	0,05	0,37	0,05	0,04	0,21	0,03	0,04	0,03	0,24	0,04	0,03	0,18	0,01	0,01	0,01	0,08	0,02	0,02
Ac MM ciclo-^{1}	0,54	0,09	0,07	0,02	0,89	0,3	0,07	0,15	0,03	0,07	0,01	0,54	0,27	0,04	0,1	0,01	0,01	0	0,08	0,04	0,01
Ac Tot ciclo-^{1}	5,4	1,74	1,27	1,35	3,16	3,34	2,07	1,95	0,56	1,27	0,75	1,98	1,44	1,17	1,16	0,29	0,47	0,54	0,72	0,33	0,6
F/C	13	37,9	52,9	18,1	7,6	63	67,8	6,21	86,9	52,9	48,2	4,1	24,4	47,3	5,57	118,7	107,3	38,7	8,7	17,2	68
Ac Fol dia-^{1}	13,9	4,91	4,14	5,64	8,14	11,1	7,37	4,22	1,77	4,14	2,48	3,34	4,14	3,94	3,13	1,02	1,63	1,89	2,07	1,11	2,31
Ac Col dia-^{1}	2,12	0,26	0,15	0,2	1,38	0,19	0,14	0,78	0,11	0,15	0,15	0,88	0,18	0,1	0,65	0,02	0,02	0,05	0,29	0,1	0,11
Ac MM dia-^{1}	1,92	0,35	0,26	0,06	3,02	1,25	0,26	0,54	0,11	0,26	0,01	2,11	1,02	0,18	0,37	0,03	0,04	0	0,29	0,17	0,06
Ac Tot dia-^{1}	17,9	5,52	4,55	5,86	11,7	12,4	7,69	5,55	2	4,55	2,7	7,34	5,35	4,33	4,15	1,05	1,7	1,94	2,67	1,4	2,5
Alturas	64	44	41	54	58	61	52	66	44	41	59	64	59	55	76	48	42	61	72	51	58
Dens For	1,15	0,66	0,63	0,5	0,83	0,8	0,49	0,33	0,23	0,63	0,3	0,53	0,4	0,41	0,2	0,2	0,21	0,23	0,13	0,11	0,16
NP	773	873	748	714	645	659	567	258	338	345	374	379	329	310	210	247	259	272	209	181	158
Peso Perfilho	0,54	0,27	0,27	0,22	0,55	0,51	2,24	0,5	0,16	0,23	0,21	0,54	0,47	2,03	0,43	0,13	0,21	0,2	0,48	0,22	2,08
IAF	5,5	2,8	2,13	2,84	6,7	6,67	3,64	2,7	1,15	1,56	1,62	2,4	3,26	2,59	2,18	1,2	1,04	1,35	1,63	1,26	1,39

Ciclo: intervalos de 28 dias; 1º: maio; 2º: junho; 3º: setembro; 4º outubro; 5º novembro; 6º dezembro; 7º: janeiro. %MS: porcentagem de massa seca; MM: material morto; Ac. Col perf-^{1}: Acúmulo de MS de Colmo por perfilho por dia (g); Ac Fol perf.-^{1}: Acúmulo de MS de Folha por perfilho por dia (g); Ac Fol ciclo-^{1}: Acúmulo de MS de Folha por ciclo (tonelada); Ac Col ciclo-^{1}: Acúmulo de MS de Colmo por Ciclo (tonelada); Ac MM ciclo-^{1}: Acúmulo de MS de MM por ciclo (tonelada); Ac Tot ciclo-^{1}: Acúmulo de MS Total (folha+colmo+MM) por ciclo (tonelada); Ac Fol dia-^{1}: Acúmulo de MS de Folha por m² por dia (g); Ac Col dia-^{1}: Acúmulo de MS de Colmo por m² por dia (g); Ac MM dia-^{1}: Acúmulo de MS de MM por m² por dia-^{1} (g); Ac Tot dia-^{1}: Acúmulo de MS Total (folha+colmo+MM) por m² por dia (g); F/C: relação folha colmo; %MS Folha: porcentagem de massa seca das folhas; %MS Colmo: porcentagem de massa seca de colmo; IAF: índice de área foliar; Dens For: densidade de forragem (kg m-^{3}); NP número de perfilhos. Ciclos: 1º = maio; 2º junho; 3º outubro; 4º novembro; 5º dezembro; 6º janeiro; 7º fevereiro. g: gramas.

4.3.1.2 Atributos morfogênicos

Os valores médios, por ciclo, das características mofogênicas do capim Mombaça, cultivado nos sistemas silvipastoris SSP 60, SSP 30 e a Sol Pleno, ao longo de sete ciclos, são apresentados na Tabela 2b. Os valores de acúmulo de MS em mg mm^{-1} perfilho^{-1} dia^{-1} (índices gravimétricos) apresentaram médias gerais de: Ac. MS Folha perfilho^{-1} dia^{-1}: 0,31, 0,25 e 0,19 g mm^{-1}; Ac. MS Colmo perfilho^{-1} dia^{-1}: 0,039, 0,028 e 0,016 g mm^{-1} paras as áreas Sol Pleno, SSP 30 e SSP 60. Logo, a medida que aumenta-se o sombreamento há menor deposição de MS por unidade de área foliar, consequentemente, há maior teor de água nos tecidos vegetais.

As taxas morfofisiológicas do capim Mombaça foram afetadas pelos níveis de sombreamento (BELESKY et al., 2011). Observou-se que as taxas médias de crescimento no sistema Sol Pleno foram inferiores as médias dos sistemas SSPs (Tabela 2b). O sombreamento fez elevar a TAlC, TAlF e CFiF e reduzir a TSF e o NFM. As médias de NFV e NFApar entre os três sistemas foi bastante similar já que a produção de folhas é um parâmetro central da morfogênese e tende a ser preservado o mais próximo possível do normal (ARAUJO et al., 2011). Para a TApF, verificou-se que as folhas nos SSP apresentavam maiores TAlF, mas também apresentavam maior comprimento final da folha, o que fez com que o tempo para aparecimento não fosse reduzido devido a maior TAlF, sendo inferiores a TApF do sistemas Sol Pleno.

Embora tenham sido observados maiores valores médios de alongamento de tecidos (TAlF e TAlC) nos SSPs, as taxas médias gravimétricas e de Ac. MS Folha perf.$^{-1}$ dia^{-1} e Ac. MS Colmo perf.$^{-1}$ dia^{-1} (Tabela 2a), foram maiores em Sol Pleno. Isto ocorreu devido a fatores como menor teor de MS nos tecidos das plantas sob SSP 30 e SSP 60, produção de folhas mais delgadas e estreitas e perfilhos com hastes mais alongadas e finas (OLIVEIRA et al., 2013). Paciullo et al., (2011) também descrevem que sob sombreamento, as gramíneas forrageiras C_4 têm ajustes morfofisiológicos para manter o crescimento, como alongamento de órgãos (GUENNI et al., 2008), mas sob nível de sombreamento de 35 a 60% estes mecanismos não compensam a redução da radiação, e a produção em SSPs foi

Tabela 2b. Médias por ciclos de atributos morfogênicos do capim Mombaça cultivado em sistema de monocultivo (Sol Pleno – SP) e sistema agroflorestal com 30 e 60% de sombreamento (SSP 30 e SSP 60) ao longo de sete ciclos de avaliação.

Sistemas	SP							SSP 30							SSP 60						
Ciclos	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º
Variáveis																					
NFApar	2,7	1,4	1,46	1,33	2,1	2,6	1,5	2,76	1,3	1,16	1,46	2,27	2,38	1,5	2,32	1,4	1,7	1,16	1,72	2	1,38
NFM	0,46	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0,06	0	0	0	0	0	0
NFV	4,13	2,65	3	3,2	4,5	4	3,2	4,5	2,4	3,2	3,16	4,27	4,27	3,22	4,1	3	3,33	3,2	3,8	4,5	3,23
TAlF	60,2	34	58,5	49,5	95,7	77,2	55,1	84,4	42,5	84,4	65,9	64,9	72,1	55,1	87	49,6	88,5	73,9	58,9	56,9	62,4
TSF	6,69	1,58	1,45	0,63	2,42	1,01	1,42	3,4	0,43	1,46	0,35	1,49	0,33	0,24	0,52	0,2	0,3	0,16	0,05	0,16	0,41
TAlC	2,19	0,74	0,53	1,19	4,62	2,05	1,2	2,36	0,86	3,32	3,07	2,71	2,77	2,43	2,63	1,31	4,75	2,98	3,88	2,4	2,5
TApF	0,12	0,09	0,14	0,12	0,17	0,11	0,10	0,12	0,07	0,14	0,11	0,14	0,14	0,11	0,13	0,08	0,15	0,11	0,13	0,1	0,1
Filocrono	11,5	11,8	7,52	10,1	6,38	8,81	11,3	9,38	14,3	9	10,3	7,51	7,48	10,1	9,2	13,1	6,83	10,5	8,72	11,6	10,8
IAF	5,5	2,8	2,13	2,84	6,7	6,67	3,64	2,7	1,15	1,56	1,62	2,4	3,26	2,59	2,18	1,2	1,04	1,35	1,63	1,26	1,39
RAF	1,08	1,76	1,73	2,1	2,14	1,99	1,76	1,81	2,21	2,06	2,15	2,29	2,23	2,19	1,94	4,11	2,16	2,71	2,31	3,81	2,27
AFE	2,75	3,28	3,18	3,63	3,06	3,71	3,07	3,96	4,04	3,91	3,88	2,65	3,78	4,02	4,17	7,19	3,76	4,62	2,93	7,91	4,12
CFiF	471	360	288	424	477	611	478	694	371	439	591	462	520	365	672	454	465	570	508	432	495

Ciclo: intervalos de 28 dias; NFApar: número de folhas aparecidas por ciclo; NFM: número de folhas mortas por ciclo; NFV: número de folhas vivas por perfilho; TAlF: taxa de alongamento foliar (mm perfilho^{-1} dia^{-1}); TSF: taxa de senescência foliar (mm perfilho^{-1} dia^{-1}); TAlC: taxa de alongamento de colmo (mm perfilho^{-1} dia^{-1}); TApF: taxa de aparecimento foliar (númeor de folhas surgidas por dia); Filocrono: tempo necessario para surgimento de uma folha; IAF: índice de área foliar; RAF: razão de área foliar; AFE: área foliar específica. CFiF: comprimento final das folhas. Ciclos: 1º = maio; 2º junho; 3º outubro; 4º novembro; 5º dezembro; 6º janeiro; 7º fevereiro.

inferior a sol pleno. Na literatura a TAlF é altamente correlacionada com a produção de MS de forragem (ARAUJO et al., 2011), mas neste ensaio isso não foi observado, fato que pode estar associado aos efeitos do níveis de sombreamento.

Quanto ao Filocrono, foi observado que o número de dias para aparecer uma folha nos SSPs foi maior que em Sol Pleno, embora nos SSPs tenha ocorrido maior TAlF. Isto pode ser o resultado de folhas mais compridas e/ou maior comprimento do cartucho de bainhas dos perfilhos nos SSPs, que aumentam o CFiF. Este efeito contribuiu para que o NFApar em Sol Pleno fosse maior que nos SSPs.

Em relação aos dois níveis de sombreamento pode-se observar que o SSP 60 afetou mais as taxas de alongamentos de tecidos, senescência foliar e acúmulo de MS por perfilho, por área e por tempo, do que SSP 30, havendo maior aumento do crescimento e menor desenvolvimento em relação ao SSP 30 e Sol Pleno. Esta maior redução do acúmulo de MS de forragem em SSP 60 (Tabela 2a) ocorreu devido o sombreamento imposto ser considerado excessivo (PACIULLO et al., 2011; GUENNI et al., 2008). Plantas sob condições ótimas (Sol Pleno) investem seus fotossintados no crescimento geral. Já plantas sob limitações luminosa (SSPs) resguardam partes dos fotossintados para armazenamento, pois há limitação na fotossíntese, apresentando menor desenvolvimento (BELESKY et al., 2011).

O maior alongamento das plantas em SSPs e o menor acúmulo de biomassa de forragem, apesar da sua menor maturação fisiológica (reduzido perfilhamento e menor surgimento de folhas), são indícios que nestes sistemas, manejos do dossel baseados na altura não devem seguir as recomendações de intervalo entre pastejo comumente adotadas para as condições de sol pleno na região norte.

Nestes SSPs o intervalo entre desfolhas deve ser maior, já que intervalos curtos, para manter as alturas dentro dos limites estipulados e o controle efetivo do alongamento das hastes pode estar em desacordo com o acúmulo de biomassa e a restituição das reservas orgânicas das plantas, o que pode causar seu definhamento. BELESKY et al. (2011) relatam que sob sombreamento a

desfolha do pasto deve ser menos intensa e menos frequente para permitir a regeneração do dossel.

A altura do pasto em SSPs pode atingir valores ótimos para pastejo de forma arbitrária que embora pareçam sustentar a produção leva ao enfraquecimento da planta. Neste estudo a manutenção do dossel à 50 cm de altura manteve o NFV, em média, superior a três, o que indica o limite do ponto de colheita, mas foi adotado para não comprometer a perenidades das plantas nos sistemas integrados.

Em relação a TSF pode-se inferir que a colheita de forragem no sistema Sol Pleno deve ocorrer a intervalos menores do que nos SSPs, hava vista a necessidade de se maximizar a eficiência de aproveitamento do material produzido, logo, Sol Pleno deve ter um menor intervalo ente pastejo, em sistema de lotação intermitente, ou maior taxa de lotação, em sistema de lotação contínua, em relação aos SSPs (BELESKY et al., 2011; LEMAIRE et al., 2009).

Diante destas observações é possível sugerir que a colheita de forragem em Sol Pleno deve ocorrer à intervalos menores que o adotado neste estudo (28 dias), haja vista a observação de perdas de forragem por senescência, ao passo que a colheita nos SSPs deve ser superior a este período de tempo, considerando-se as observações do menor potencial de rebrota (menor acúmulo de MS por unidade de tempo). Araujo et al. (2011) tem sugerido intervalo de desfolha para gramíneas em SSP superior a 49 dias.

4.3.1.3 Análise multivariada e Geoestatística

A análise de componentes principais (ACP) foi utilizada para promover redução da dimensionalidade dos efeitos da variabilidade, de modo a sintetizar as principais características e as variações que ocorrem entre as áreas de SSP 60, SSP 30 e Sol Pleno. Isto também serviu para elencar as variáveis que mais foram afetas pelo sombreamento. Três componentes principais foram identificadas (Tabela 5): aquelas cujos autovalores eram iguais ou maior que 1 ou quando explicavam, de forma acumulada, mais de 70% da variabilidade total dos dados dos três sistemas. Desta forma, a variabilidade das áreas passou a ser explicada por três componentes, que representam o conjunto original de dados, ao invés de 30 características, com perda

de explicação de apenas 24,24%. Os autovetores que compuseram os componentes principais foram determinados pelos autovalores com maior correlação com a componente, sendo que os autovalores foram originados dos valores dos atributos reais (Figura 6).

Tabela 5. Resumo dos valores dos componentes principais e porcentagem da variação por eles explicada.

Componentes	Autovalor	% da variância explicada	Variância explicada acumulada
1º	**12.06569**	**40.21896**	**40.2190**
2º	**7.27827**	**24.26089**	**64.4798**
3º	**3.38465**	**11.28218**	**75.7620**
4º	1.81462	6.04875	81.8108
5º	1.28567	4.28557	86.0963
6º	1.06635	3.55449	89.6508
7º	0.76818	2.56060	92.2114
8º	0.62240	2.07465	94.2861
9º	0.56461	1.88204	96.1681
10º	0.35475	1.18252	97.3506

A primeira componente principal explicou 40,21% da variação total dos dados (Tabela 5). Ela foi composta (correlacionada) pelos atributos: Ac. MS de Folha ciclo^{-1}, Ac. MS de Colmo ciclo^{-1}, Ac. MS de MM ciclo^{-1}, Ac. MS Total ciclo^{-1}, Ac. MS de Folha dia^{-1}, Ac. MS de Colmo dia^{-1}, Ac. MS de MM dia^{-1}, Ac. MS Total dia^{-1}, densidade de forragem, NP e IAF (Tabela 6). Estes atributos identificam esta primeira e mais importante componente, com maior peso na classificação, como sendo uma variável de acúmulo de forragem. Estas variáveis apresenta-se em condições opostas aos atributos morfogênicos de alongamento de tecidos, então, o maior sombreamento fez diminuir o acúmulo de forragem e elevou o alongamento. Estas mesmas variáveis são os atributos agronômicos que mais sofrem efeito do sombreamento e que servem para distinguir estes três sistemas.

A segunda componente principal explicou 24,26% da variação total dos dados (Tabela 5). Ela foi composta (correlacionada) pelos atributos: TAlF, TSF, TAlC, (Tabela 6). A correlação positiva da TAlF e TAlC evidencia que o aumento do sombreamento promoveu aumento das taxas de alongamento, ao passo que a correlação negativa para TSF indica redução da senescência nos SSPs. Estas variáveis morfogênicas são as mais afetadas pelo sombreamento, contudo sofrem menos efeitos que o acúmulo de forragem e servem em menor magnitude para distinguir os sistemas.

Estes resultados sugerem que a morfogênese é menos afetada pelo sombreamento que o acúmulo de biomassa. Isto pode ser o resultado do efeito da plasticidade fenotípica que a planta exerce sob os parâmetros fisiológicos para manter o crescimento e a arquitetura do dossel o mais normal possível. Assim, a planta, apesar de fixar menos massa seca, mantém o alongamento, possivelmente à custa do maior acúmulo de água nos tecido (maior espaço nos parênquimas esponjoso e paliçádico).

Tabela 6. Correlação entre as variáveis originais e os principais fatores que influenciam na formação de grupos distintos.

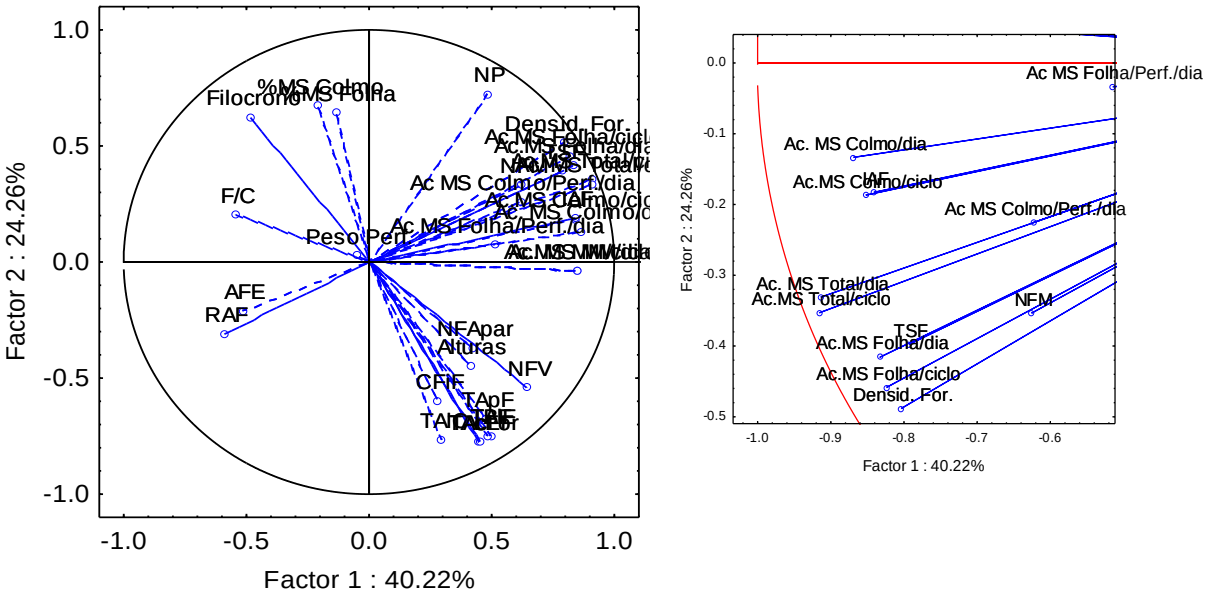
	Componentes		
Variáveis	1º	2º	3º
NF Apar	-0.423670	0.341982	-0.562489
NFM	-0.626272	-0.353867	-0.319784
NFV	-0.646082	0.529316	-0.379277
TAlF	-0.485201	**0.757535**	0.303923
TSF	-0.397877	**-0.793533**	-0.078845
TAlC	-0.288199	**0.786160**	0.117651
TApF	-0.464750	0.621390	0.345495
Filocrono	0.467001	-0.672591	-0.330910
%MS Folha	0.124386	-0.429068	**-0.713584**
Ac MS Colmo Perf.$^{-1}$ dia^{-1}	-0.623557	-0.225601	0.449002
Ac MS Folha Perf.$^{-1}$ dia^{-1}	-0.415297	-0.033578	0.648399
%MS Colmo	0.200680	-0.661958	0.411784
Ac MS Folha Ciclo^{-1}	**-0.824463**	-0.458718	0.011645
Ac MS Colmo Ciclo^{-1}	**-0.852828**	-0.186911	-0.262838
Ac MS MM Ciclo^{-1}	**-0.859425**	0.063650	-0.019541
Ac MS Total Ciclo^{-1}	**-0.916170**	-0.353205	-0.077789
F/C	0.538084	-0.200024	0.467618
Ac MS Folha dia^{-1}	**-0.832738**	-0.415651	0.003186
Ac MS Colmo dia^{-1}	**-0.869581**	-0.133481	-0.255777
Ac MS MM dia^{-1}	**-0.857160**	0.061823	-0.038483
Ac MS Total dia^{-1}	**-0.914348**	-0.331227	-0.060201
Alturas	-0.293365	0.407070	**-0.794809**
Densidade Forragem	**-0.804168**	-0.488464	0.234476
NP	**-0.701010**	-0.486193	0.290967
Peso Perfilho	0.057320	-0.025468	-0.257679
IAF	**-0.841490**	-0.182897	0.024522
RAF	0.570118	0.288561	-0.161228
AFE	-0.516210	-0.206573	-0.224790
CFiF	-0.276178	-0.592188	-0.033373

NFApar: número de folhas aparecidas por ciclo; NFM: número de folhas mortas por ciclo; NFV: número de folhas vivas por perfilho ao final do ciclo; TAlF: taxa de alongamento foliar; TSF: taxa de senescência foliar; TAlC: taxa de alongamento de colmo; TApF: taxa de aparecimento foliar; IAF: índice de área foliar; RAF: razão de área foliar; AFE: área foliar específica. CFiF: comprimento final das folhas. %MS: porcentagem de massa seca; MM: material morto; Ac. MS Colmo perf^{-1}: Acúmulo de MS de Colmo por perfilho por dia (g); Ac MSFolha perf.$^{-1}$: Acúmulo de MS de Folha por perfilho por dia (g); Ac MS Folha ciclo^{-1}: Acúmulo de MS de Folha por ciclo; Ac MS Colmo ciclo^{-1}: Acúmulo de MS de Colmo por Ciclo; Ac MS MM ciclo^{-1}: Acúmulo de MS de MM por ciclo; Ac MS Total ciclo^{-1}: Acúmulo de MS Total (folha+colmo+MM) por ciclo; F/C: relação folha colmo; Ac MS Folha dia^{-1}: Acúmulo de MS de Folha por m² por dia; Ac MS Colmo dia^{-1}: Acúmulo de MS de Colmo por m² por dia; Ac MS MM dia^{-1}: Acúmulo de MS de MM por m² por dia^{-1}; Ac MS Total dia^{-1}: Acúmulo de MS Total (folha+colmo+MM) por m² por dia; NP número de perfilhos.

A terceira componente principal explicou 11,28% da variação total (Tabela 5). Ela foi composta (correlacionada) pelos atributos: % MS Folha e Alturas (Tabela 6). A % MS Folha foi negativamente influenciada pelos SSPs, evidenciando redução do teor de MS nas plantas de capim Mombaça sob SSP, ao passo que as alturas foram afetadas positivamente pelos SSPs. Logo, houve aumento das alturas das plantas devido o aumento do sombreamento, já que nos SSPs houveram maiores valores de TAlF e TAlC.

Diante desta síntese, fica evidente que a primeira componente principal representa a capacidade produtiva dos sistemas. A segunda componente representa as modificações na arquitetura das plantas. Já a terceira componente representa os efeitos das variações adaptativas ao sombreamento. Estes são os atributos que mais se distinguem nos ambientes estudados em função dos dados analisados.

A ACP permitiu representar a distribuição da nuvem de pontos formada pelas variáveis agronômicas e morfogênicas. Na Figura 6 pode-se observar a relação das características reais com os componentes gerados. O primeiro plano principal (1º vs. 2º componente principal) evidencia a formação da 1º componente, por variáveis de caráter agronômico, e descreve a formação da 2º componente, de caráter morfogênico. O terceiro plano principal (3º vs. 1º componente principal) demonstra os efeitos do sombreamento sob a % MS Folha e altura das plantas.



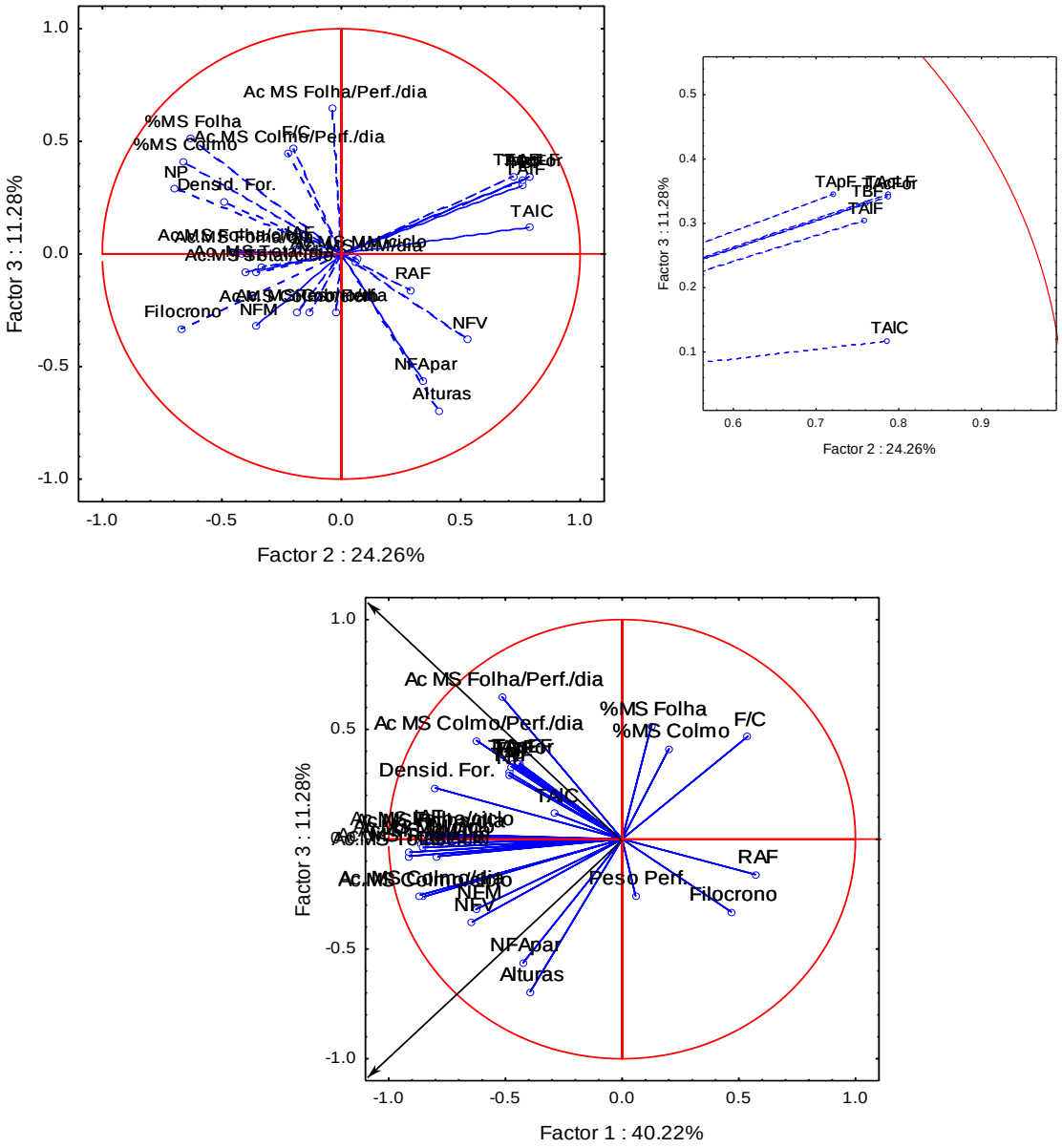


Figura 6. Variáveis reais tomadas na composição das componentes principais e circulo de correlação formado entre características e as componentes principais, em função de atributos agronômico e morfogênicos dos SSP 60, SSP 30 e Sol Pleno. Características próximas aos eixos das componentes e com raio próximo ao circulo possuem maior relevância.

4.3.2 Avaliações geoestatísticas

A partir da determinação das variáveis que compuseram as componentes principais, por serem de maior relevância na distinção dos três sistemas, conduziu-se a avaliação da distribuição espacial de cada um destes atributos em função do sombreamento.

A estatística descritiva dos dados das principais variáveis (Tabela 7) revela que todos os atributos morfogênicos apresentaram distribuição normal ao teste de Kolmogorov-Smirnov (5%), já para as variáveis agronômicas somente a altura teve distribuição normal. Os coeficientes de variação (CV) dos atributos morfogênicos, da % MS Folhas e Alturas foram inferiores a 35%, indicando média variação, sugerindo que a média tem significado e pode ser representativa. Para os demais atributos agronômicos o CV foi superior a 35% e próximo a 60%, indicando alta variabilidade (WARRICK e NIELSEN, 1980) e heterogeneidade das áreas. Estes dados sugerem que as médias têm pouco ou nenhum significado e a avaliação deve ser feita através da variabilidade espacial, por reduzir o erro de estimativas médias, já que a média geral pouco representa o ambiente (SILVA NETO et al., 2012).

Os maiores CV para características agronômicas indicam que os acúmulos de biomassa sofreram maior interferência do sombreamento dos SSPs, podendo esta variabilidade estar condicionada pelo arranjo das palmeiras dentro dos sistemas e da ausência de árvores em Sol Pleno. Já as características morfogênicas foram menos afetadas pela presença das palmeiras e as variações em cada condição de sombreamento. Silva Neto et al. (2012) também reportam elevados valores de CV para atributos agronômicos em diferentes ambientes e que nestas condições somente a avaliação por meio da média pode levar a sub ou superestimativas da produção de forragem.

Os coeficientes de assimetria e curtose das variáveis (Tabela 7), com exceção do Ac. MS Total Colmo ciclo^{-1}, revelaram que os dados tenderam a uma aproximação entre média e mediana e que a maior parte dos dados não esteve nem muito próximo a média nem próximo a valores extremos, positivos ou negativos, nas caudas. Isto indica que os sistemas possuem valores médios para cada característica com variabilidade estruturada em função do ambiente e com algum tipo de dependência espacial.

Tabela 7 - Estatística descritiva dos componentes agronômicos e mofogênicos do capim Mombaça que compuseram componentes principais em sistema de monocultivo (Sol Pleno – SP) e sistema agloflorestal com 30 e 60% de sombreamento (SSP 30 e SSP 60) ao longo de sete ciclos de avaliação.

Característica	Parâmetros									
	Min.	Máx.	Md	Mn	Mo	Desv.Pad.	Variação	Coeficiente Assimetria	Curtose	Normalidade KS
TSF	0,85	3,39	1,19	1,08	-	0,88	32,50	0,50	0,77	Sim
TAlC	1,30	4,08	2,39	2,41	-	0,58	24,68	0,31	-0,25	Sim
TAlF	50,90	80,55	65,88	65,23	-	6	9,11	0,20	-0,17	Sim
%MS Folha	18,08	28,42	21,47	20,95	-	1,74	8,18	0,90	1,31	Não
MS Total Folha ha^{-1} ciclo^{-1}	0,35	2,73	1,17	0,87	-	0,71	60,94	0,61	-1,24	Não
MS Total Colmo ha^{-1} ciclo^{-1}	0,02	0,60	0,10	0,10	-	0,08	73,58	3,01	15,39	Não
MS Total MM ha^{-1} ciclo^{-1}	0,01	0,76	0,20	0,20	-	0,16	80,43	1,03	1,02	Não
MS Total ha^{-1} ciclo^{-1}	0,40	3,12	1,43	1,63	-	0,83	58,32	0,47	-1,33	Não
Ac.MS Folha (g m^{-2} dia^{-1})	1,32	10,03	4,33	3,18	-	2,63	60,78	0,62	-1,25	Não
Ac.MS Colmo (g m^{-2} dia^{-1})	0,09	0,80	0,36	0,33	-	0,19	52,47	0,52	-0,88	Não
Ac. MS.MM (g m^{-2} dia^{-1})	0,04	1,20	0,58	0,68	-	0,36	61,49	-0,16	-1,40	Não
Ac.MS Total (g m^{-2} dia^{-1})	1,53	11,47	5,30	4,23	-	3,07	57,28	0,49	-1,33	Não
Alturas	46	64	56	56	56	3,05	5,47	-0,02	1,16	Sim
Densidade de Forragem (kg m^3)	0,09	0,92	0,41	0,32	-	0,23	57,27	0,42	-1,27	Não
Número de Perfilhos (m^2)	88	936	421	341	335	222,16	52,98	0,51	-1,05	Não
IAF	1,00	5,43	2,68	2,27	-	1,24	46,78	0,44	-0,33	Não

KS: Teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov significativo a 5%. Md: média; Mn: mediana; Mo: moda. TSF: taxa de senescência foliar; TAlC: taxa de alongamento de colmo; TAlF: taxa de alongamento foliar; TBF: taxa bruta de forragem; TAcLF: taxa de acúmulo de lâmina foliar; TAcFor: taxa de acúmulo de forragem; %MS Folha: porcentagem de matéria seca de folhas; MS Total Folha há$^{-1}$ ciclo^{-1}: acúmulo total de folhas por hectare por ciclo; MS Total Colmo ha^{-1} ciclo^{-1}: acúmulo total de colmo por hectare por ciclo; MS Total MM ha^{-1} ciclo^{-1}: acúmulo total de material morto por hectare por ciclo; MS Total ha^{-1} ciclo^{-1}: acúmulo total de biomassa (folha+colmo+MM) por hectare por ciclo; Ac.: acúmulo; MS: matéria seca; IAF: índice de área foliar.

A análise geoestatística, pela construção dos variogramas, indicou que todas as variáveis analisadas apresentaram dependência espacial definida por semivariogramas unidirecionais ajustados aos modelos teóricos esférico e exponencial (Tabela 8). Os dados se ajustaram bem aos modelos definidos, haja vista os altos valores de coeficientes de determinação (R^2) e baixos erros (Soma de Quadrados dos Resíduos - SQR) (Tabela 8).

Os valores o grau de dependência espacial (GDE) das variáveis foi classificado como Forte, com exceção das Alturas, que foi Médio (Tabela 8). Isso indica que o componente relacionado com a variabilidade aleatória (C_0) é bem menor que o componente associado com a variação estruturada ($C_1 = C_0 – C$, onde C é o Patamar), oriunda de uma dependência dos dados em função dos ambientes (SILVA NETO et al., 2012). Diante disso, o fenômeno da variação descrito pelos modelos ajustados aos semivariogramas é representado, com grande precisão, pela interpolação por krigagem ordinária (VIEIRA et al., 2010), gerando valores médios em locais não amostrados com o mínimo de erro. Este processo identificou zonas distintas, onde os dados que as geraram possuíam dependência espacial e se modificavam em função do sistema de uso para a produção de forragem. Como os valores de Patamar foram bem definidos infere-se sobre a não ocorrência do efeito proporcional, onde a média da variabilidade (variância) é constante na área de estudo, fato que invalida a dependência espacial (SILVA NETO et l., 2012).

Os valores de alcance foram considerados suficientes por serem maiores que as distâncias entre os pontos de coleta da malha, indicando que o dimencionamento da malha e número de pontos amostrais foi adequado para expressar a dependência espacial das diversas variáveis. Estes valores indicam a distância máxima em que os pontos de amostragem estão correlacionados entre si e também pode indicar os limites de unidades de manejo e/ou uso. Ainda, o alcance mostra o raio no qual o pontos contidos são tão similares que podem ser usado para prever um valor dentro deste raio (SILVA NETO et al., 2012).

Os valores de alcance para TAlC, TAcLF e Ac. MS Colmo ciclo^{-1} foram relativamente baixos, evidenciando que estas características sofreram maior variação dentro do ambientes, o que pode ter ocorrido devido a distribuição aleatória das espécies arbóreas, gerando menor e/ou fragmentação da

continuidade no espaço (SILVA NETO et al., 2012). Já os maiores alcances, observados para Alturas e TAcFor indicam continuidade dentro de cada sistema e mudança gradativa e contínua entre os sistemas.

Tabela 8. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas ajustados aos valores das características agronômicas e morfogênicas do capim Mombaça cultivado em SSP com 30 e 60% de sombreamento e a Sol Pleno.

		Parâmetros						
Característica	Modelo	C_0	C_0 + C	Alcance (m)	GDE (%)	Classe	R^2	SQR
TSF	Exp.	0,09	2,22	108,2	0,93	Forte	0,98	0,0018
TAlC	Esf.	0,05	0,31	53,4	0,85	Forte	1	0,0006
TAlF	Exp.	23,6	60,3	111,7	0,60	Forte	0,82	5,61
%MS Folha	Esf.	0,75	3,58	102,3	0,82	Forte	0,98	0,05
Ac.MS Folha Perfilho^{-1} dia^{-1}	Esf.	0,00003	0,0024	157,7	0,86	Forte	0,98	0,0005
MS Total Folha ha^{-1} ciclo^{-1}	Esf.	0,003	0,74	155,9	0,99	Forte	0,99	0,0002
MS Total Colmo ha^{-1} ciclo^{-1}	Esf.	0,0005	0,0073	70,8	0,93	Forte	0,96	0,0011
MS Total MM ha^{-1} ciclo^{-1}	Esf.	0,0088	0,039	169,1	0,77	Forte	0,97	0,0016
MS Total ha^{-1} ciclo^{-1}	Exp.	0,001	2,00	186,1	1	Forte	0,99	0,0034
Ac.MS Folha (g m^{-2} dia^{-1})	Esf.	0,01	10,10	153,5	0,99	Forte	0,99	0,33
Ac.MS Colmo (g m^{-2} dia^{-1})	Exp.	0,0037	0,14	297	0,97	Forte	0,98	0,00031
Ac. MS.MM (g m^{-2} dia^{-1})	Esf.	0,028	0,31	354	0,91	Forte	0,97	0,00005
Ac.MS Total (g m^{-2} dia^{-1})	Esf.	0,01	14,80	171,6	0,99	Forte	0,99	0,78
Alturas	Exp.	7,67	15,34	410,9	0,57	Médio	0,60	5,96
Densidade de Forragem	Exp.	0,002	0,20	272	0,99	Forte	0,99	0,00017
Nº de Perfilhos	Esf.	2800	75890	169,7	0,96	Forte	0,99	0,00047
IAF	Esf.	0,084	2,38	169,5	0,96	Forte	0,99	0,014

Exp.: Exponencial; Esf.: Esférico; C_0: Efeito Pepita; C_0 + C: Patamar (efeito pepita + contribuição). GDE: Grau de dependência espacial. SQR: Soma de quadrados do resíduo. TSF: taxa de senescência foliar; TAlC: taxa de alongamento de colmo; TAlF: taxa de alongamento foliar; TBF: taxa bruta de forragem; TAcLF: taxa de acúmulo de lâmina foliar; TAcFor: taxa de acúmulo de forragem; %MS Folha: porcentagem de matéria seca de folhas; MS Total Folha há$^{-1}$ ciclo^{-1}: acúmulo total de folhas por hectare por ciclo; MS Total Colmo ha^{-1} ciclo^{-1}: acúmulo total de colmo por hectare por ciclo; MS Total MM ha^{-1} ciclo^{-1}: acúmulo total de material morto por hectare por ciclo; MS Total ha^{-1} ciclo^{-1}: acúmulo total de biomassa (folha+colmo+MM) por hectare por ciclo; Ac.: acúmulo; MS: matéria seca; IAF: índice de área foliar.

A partir dos modelos obtidos nos semivariogramas ajustados para cada característica e em função dos sistemas, estimaram-se os valores das variáveis de interesse para os locais não amostrados, por intermédio da interpolação de krigagem ordinária. Este processo quantificou a variabilidade, promoveu interpolação racional e estimou a variância dos valores interpolados (FENG et al., 2004). Finalmente, com os valores gerados, foi possível construir mapas de contorno que expressam a variabilidade espacial para cada atributo agronômico e/ou morfogênico que teve efeito na distinção dos sistemas. Os resultados

permitiram caracterizar os fenômenos da variação espacial para cada atributo em função do sombreamento (Figuras 7, 8 e 9).

Na Figura 7 são apresentados os mapas de isolinhas e distribuição espacial das características morfogênicas TAlF, TAlC, TSF. É possível observar que a área SSP 60 apresentou as maiores zonas com maiores valores TAlF e TAlC. A área SSP 30 apresentou vastas zonas com valores de TAlF e TAlC intermediários, enquanto na área a Sol Pleno houve menor TAlF e TAlC.

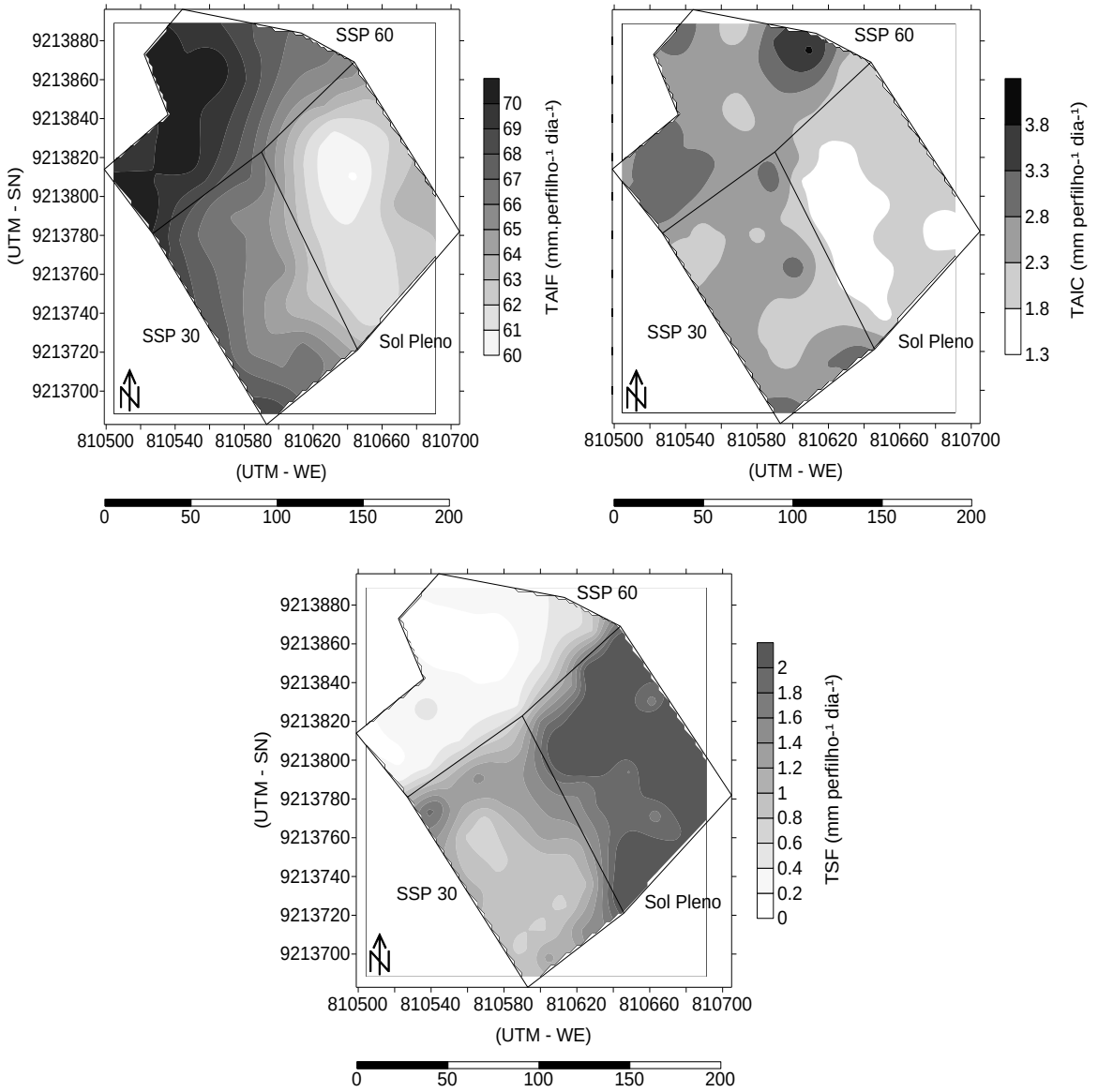


Figura 7. Mapas de contorno da distribuição espacial de atributos morfogênicos do capim Mombaça cultivado em SSPs com 30 e 60% de sombreamento e em Sol Pleno, e que apresentam significância na formação de componentes principais. TSF: taxa de senescência foliar; TAlC: taxa de alongamento de colmo;TAlF: taxa de alongamento foliar.

Maiores TAlF em ambientes sombreados são relatadas na literatura. Eles ocorrem em função de adaptações morfofisiológicas na tentativa de aumentar a área foliar para compensar o déficit de radiação (OLIVEIRA et al., 2013; VOLENEC e NELSON, 2003; GUENNI et al., 2008). Já as maiores TAlC nos SSPs, principalmente em SSP 60, são o resultado do maior nível de sombreamento, que desencadeiam os processos de alongamento de colmo na tentativa de fazer aumentar a quantidade de luz na base da touceira, bem como expor as folhas à espaços mais iluminados (ALEXANDRINO et al., 2011).

A TSF foi menor nas áreas sombreadas. No SSP 60 encontraram-se as zonas com menores valores de TSF. No SSP 30 houve uma diversidade de zonas com valores intermediários e em Sol Pleno foi encontrada uma grande zona com os maiores valores de TSF. A menor TSF em ambientes sombreados ocorre devido a redução do metabolismo celular vegetal, que reduz o desenvolvimento da planta (OLIVEIRA et al., 2013; VOLENEC e NELSON, 2003; GUENNI et al., 2008). As folhas senescem menos nos SSPs porque há menor taxa de degradação da clorofila em ambientes sombreados (SOUSA et al., 2011).

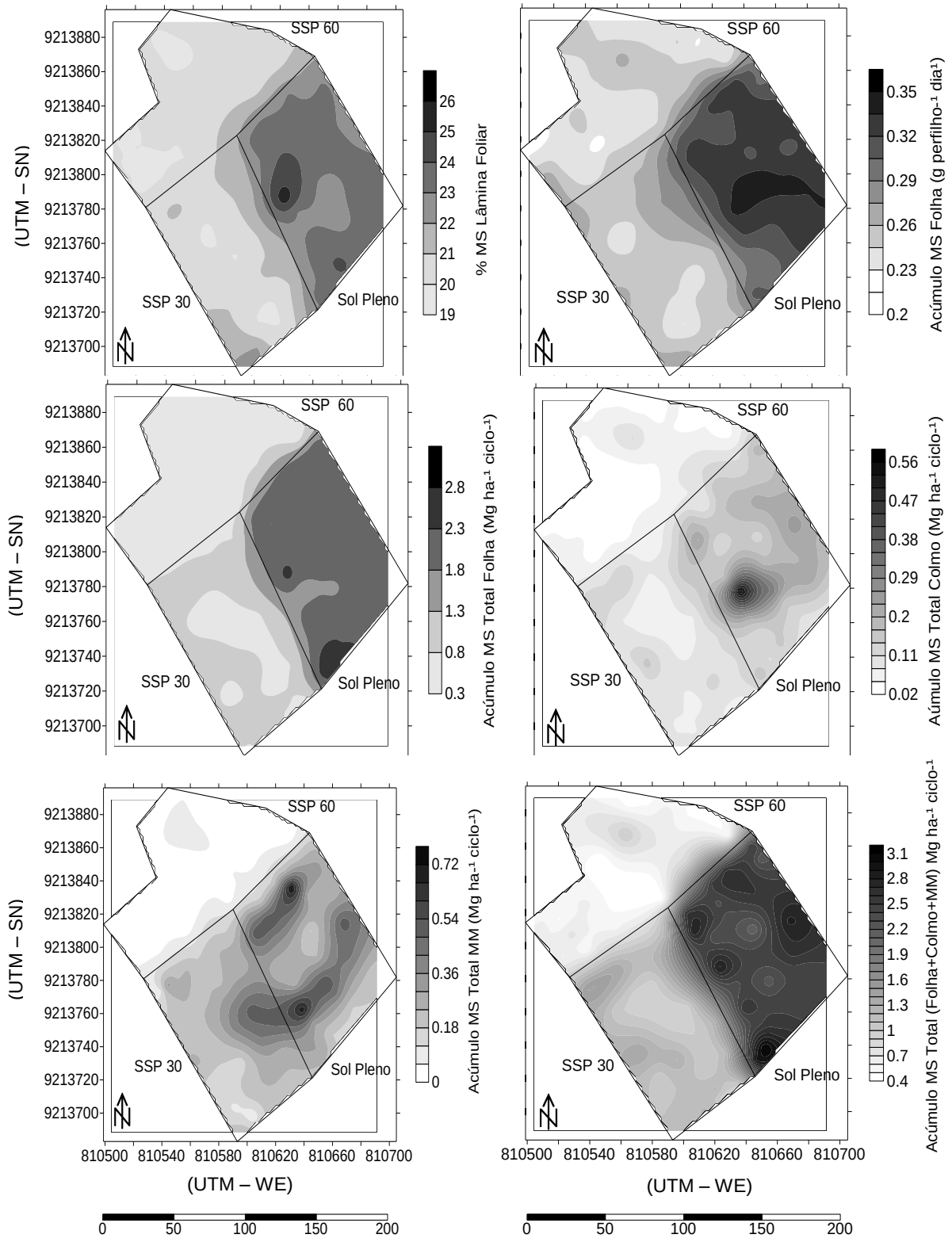
Na Figura 8 são apresentados os mapas de isolinhas e distribuição espacial das características agronômicas Ac. MS Folha perf.$^{-1}$ dia^{-1}, Ac. MS Folha ha^{-1} ciclo^{-1}, Ac. MS Colmo ha^{-1} ciclo^{-1}, Ac. MS MM ha^{-1} ciclo^{-1}, Ac. MS Total ha^{-1} ciclo^{-1}, % MS Lâmina foliar, Ac. MS Folha m^{-2} dia^{-1}, Ac. MS Colmo m^{-2} dia^{-1}, Ac. MS MM m^{-2} dia^{-1}, Ac. MS Total m^{-2} dia^{-1} em função do sombreamento. É possível observar que o aumento do nível de sombreamento para 30 e 60% promoveu a redução do acúmulo de MS de Folha e Colmo por perfilho em relação a Sol Pleno. Isto culminou na redução da produção por área e por unidade tempo.

A redução da produção de folhas esta relacionada ao fato destas se tornarem menos espessas, devido a redução no tamanho de células (PACIULLO et al., 2011) e com largura reduzida (OLIVEIRA et al., 2013) em ambientes sombreados. Além disso, as plantas se tornam mais tenras e suculentas devido o aumento do acúmulo de água nos tecidos, o que também reduz o teor de MS (GUENNI et al., 2008; PACIULLO et al., 2011). Essa redução do teor de MS existe pelo fato das plantas sombreadas possuírem um menor *pool* de fotoassimilados para a construção da parede celular, sendo o espaço intercelular

preenchido, em parte, por água (OLIVEIRA et al., 2013). Belesky et al. (2011) confirmam que plantas sombreadas possuem menos carboidratos não estruturais que plantas à sol pleno. Sousa et al. (2007) também observaram variações na porção parede celular de gramíneas a sol pleno e sombreadas, onde em sol pleno há maior conteúdo de parede celular. Isto ocorre porque em SSPs as gramíneas elevam seus teores de proteínas e diminuem os teores de carboidratos (KYRIAZOPOULOS et al., 2012).

As maiores zonas de redução da produção, por área e por ciclo, ocorreram no SSP 60. Na área a Sol Pleno foram constatadas as maiores zonas com valores mais elevados de senescência foliar e % de MS nas folhas. No SSP 60 o acúmulo de material morto foi mínimo. A senescência foliar da área SSP 30 apresentou zonas com taxas similares as da área Sol Pleno. As zonas mais discrepantes entre os sistemas foram observadas para o acúmulo de massa de folhas e total. Para o acúmulo de colmo houve similaridade de pequenas zonas entre SSP 30 e Sol Pleno.

Menores acúmulos de MM em SSPs também são relatados na literatura. Paciullo et al. (2011) avaliando o acúmulo de folhas mortas a diferentes distâncias de um renque de árvores, observaram que as taxas de senescência diminuíam a medida que se aproximava do bosque e aumentava-se o sombreamento. Estes fatos podem estar relacionados a menor atividade de iniciação de novas folhas perfilho^{-1} e consequente menor translocação de nutrientes entre folhas velhas e novas. Em SSPs as plantas podem se manter mais jovens fisiologicamente devido o atraso no desenvolvimento ontogenético, retardando a senescência (SOUZA et al., 2010). Já Sousa et al. (2007) também verificaram menor taxa de senescência foliar de capim Marandu sob 70% de sombreamento. Eles atribuíram tal efeito a alterações na taxa de formação de novas folhas o que aumenta a taxa de manutenção de tecidos semi-senescidos (FRANK e HOFMAN, 1994). Kyriazopoulos et al. (2012) mencionam que gramíneas sob SSPs possuem menor envelhecimento devido menores valores extremos de radiação, menor temperatura do solo e menor evapotranspiração. Silva Neto et al. (2012) afirmam que menores taxas de desenvolvimento reduzem a senescência foliar devido a menor translocação de nutrientes entre as folhas.


SSP 60
SSP 30
Sol Pleno
(UTM – SN)
(UTM – WE)
% MS Lâmina Foliar
Acúmulo MS Folha (g perfilho-1 dia-1)
Acúmulo MS Total Folha (Mg ha-1 ciclo-1)
Aúmulo MS Total Colmo (Mg ha-1 ciclo-1)
Acúmulo MS Total MM (Mg ha-1 ciclo-1)
Acúmulo MS Total (Folha+Colmo+MM) Mg ha-1 ciclo-1
9213880
9213860
9213840
9213820
9213800
9213780
9213760
9213740
9213720
9213700
810500 810540 810580 810620 810660 810700
0 50 100 150 200

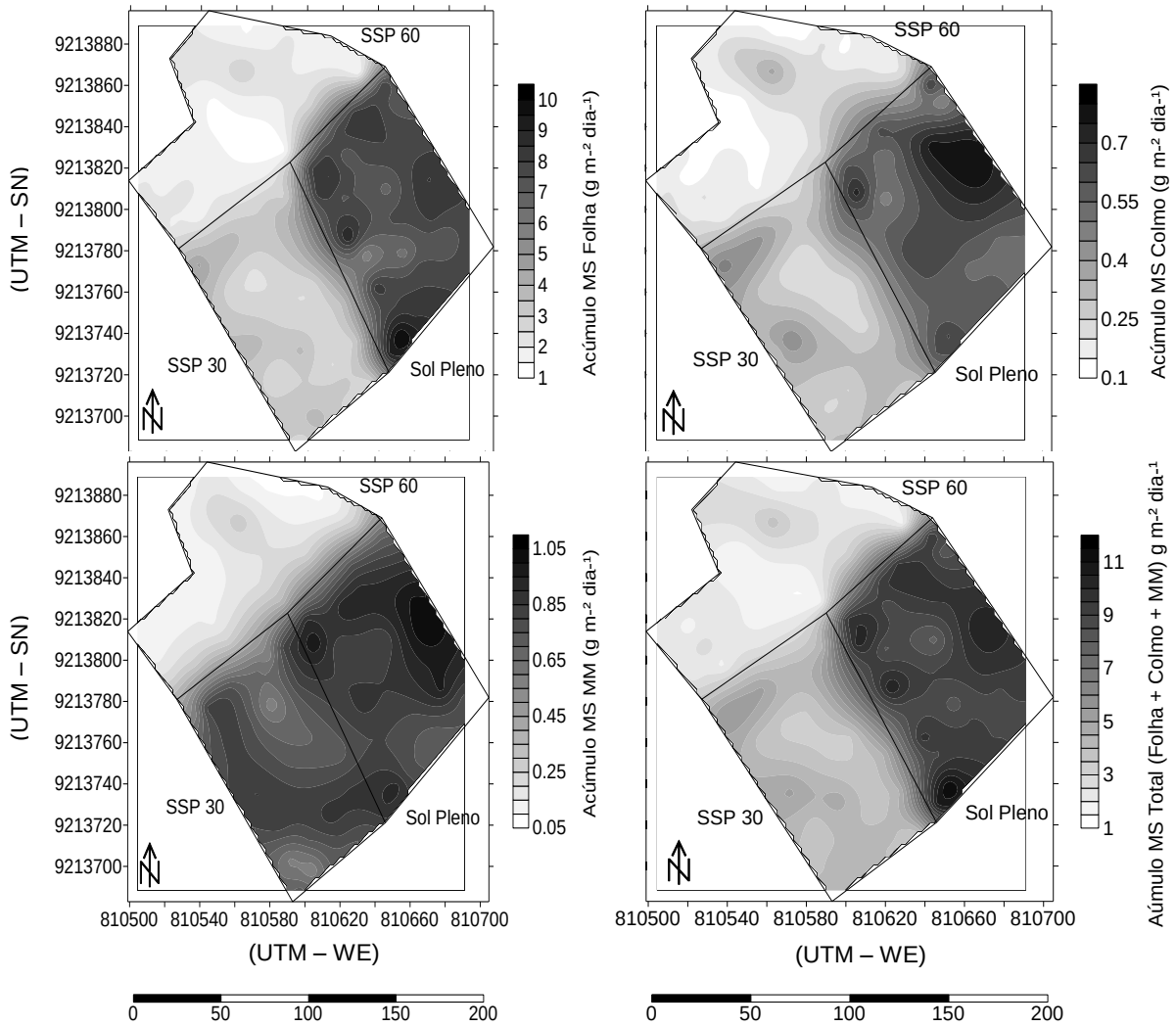


Figura 8. Mapas de contorno da distribuição espacial de atributos agronômicos do capim Mombaça cultivado em SSPs com 30 e 60% de sombreamento e em Sol Pleno, e que apresentam significância na formação de componentes principais. %MS: porcentagem de matéria seca; MS: massa seca; MM: material morto.

Reduções da produção de biomassa de cultivares de *Panicum* sob sombreamento são relatadas na literatura. OLIVEIRA et al., 2013 trabalhando com capim Tanzânia e *Andropogon gayanus* cv. Planaltina observaram que a produção de MS diminuía quando o sombreamento aumentava de 30 para 50%. Também atribuiram a redução da produção e menor taxa fotossintética e ao menor teor de MS na forrageira no ambiente mais sombreado. Sousa et al. (2007), ao sombrearem capim Marandu (77% de sombreamento) observaram redução da produção de MS, embora em menor magnitude (30%) em relação a este estudo. Castro et al. (1999) ao sombrearem *Brachiarias* e *Panicuns,* sob os níveis de 30 e 60%, encontraram reduções progressivas com aumento do

sombreamento, sendo ele artificial ou natural. Araujo et al., (2011) trabalhando em SSP com coco-anão, também relatam redução da produção e cobertura do solo pela forragem em relação a ambientes a pleno sol.

Contraditoriamente aos resultados deste estudo alguns autores (ROZADOS e LORENZO et al., 2007; YAMAMOTO et al., 2007) reportam manutenção ou mesmo aumento da produção de forragem em pasto sob sombreamento moderado. Contudo, estas respostas normalmente ocorrem em solo de baixa fertilidade (PACIULLO et al., 2011).

Na Figura 9 são apresentados os mapas de isolinhas e distribuição espacial das características agronômicas alturas, densidade de forragem, NP e IAF. É possível observar que a altura das plantas foi afetada pelo sombreamento, pois as zonas com maiores valores existiram dentro da área SSP 60 e as menores alturas ocorreram dentro de largas zonas em Sol Pleno. Contudo, o ajuste dos dados ao modelo teórico do semivariograma apresentou GDE moderado, o que reduziu a precisão no delineamento correto das zonas. Isto pode ser o resultado de variações aleatórias ocorridas em função da proximidade dos pontos à zonas de sombreamento específicos dentro dos sistemas SSP 30 e SSP 60, por aglomerados de árvores ou clareiras (ROZADOS et al.,2007) ou ainda pela pequena magnitude da vairação das alturas ente os sistemas.

Na área de SSP 60 foi diagnosticado as zonas com maiores alturas (60 a 70 cm). Na área SSP 30 foram identificadas duas zonas com alturas entre 50 a 60 cm e na área a sol pleno foram observadas alturas em torno de 55 cm, com zonas de no máximo 65 cm. O aumento da altura das plantas em função de sombreamento se deu pelas respostas de alongamento de colmo (CASTRO, 1999) ao sombreamento na base da touceira bem como pelo maior comprimento de follhas expandidas. Sousa et al. (2011) mencionam que sob sombreamento as grmaíneas forrageiras alongam seus colmos para compensar a redução da luminosidade.

Embora tenha-se verificado pequena variação das alturas entre os sistemas nota-se que entre Sol Pleno e SSP 30 tais diferenças foram mínimas. Isto pode ser resultado do fato de que no SSP 30 houve menor IAF, sombreando menos a base da touceira, embora houvesse o sombreamento arbóreo, ao passo que em Sol Pleno o IAF foi maior, aumentando o sombreamento da base. Isso pode ter

diminuido as discrepâncias no alongamento de colmo entre estes os dois sistemas. Ainda, alguma semelhança pode ser resultado do manejo de colheita de forragem realiazado com ovinos durante os mesês de novembro, dezembro de 2012 e janeiro de 2013, onde foi mantida a altura média do dossel em 50 cm nas duas áreas, por ocasião da avaliação de desempenho animal sob lotação contínua.

A densidade de forragem, o NP e o IAF também foram reduzidas nos os SSPs, em relação a Sol Pleno. As zonas com os maiores níveis de redução ocorreram no SSP 60. A redução do IAF e da densidade de forragem ocorreram em grandes zonas nos SSPs. A densidade nos SSPs foi menor, em parte, pelo maior teor de água na forrageira, ao passo que o IAF foi menor devido principalmente a menor quantidade de perfilhos por área de solo. Estas diferenças nos valores de IAF entre os dois tipos de sistemas indicam que o tempo necessário para atingir o IAF ótimo é diferente entre sol pleno e SSPs, o que ocasiona uma diferença nos intervalos de colheita entre estes dois sistemas. A menor densidade de forragem é um fato que pode comprometer o pastoreio dos animais, haja vista a maior dificuldade de apreensão da forragem por bocado (BELESKY et al., 2011).

O sistema a Sol Pleno apresentou uma grande zona com um mínimo de 700 perfilhos/m², enquanto o SSP 30 apresentou zonas de 100 a 500 perfilhos e o sistema SSP 60 apresentou zonas de 100 até 300 perfilhos. A redução do perfilhamento se deu principalmente em função da diminuição do estímulo luminoso na base da touceira. Paciullo et al. (2011) também observaram drástica redução do perfilhamento (37%) de *Urochloa decumbens* Basilisk sob níveis de sombreamento em torno de 60%.

Baruch e Guenni, (2007) reportam que a diminuição do perfilhamento de gramíneas forrageiras C_4 ocorre devido a redução da intensidade luminosa e da relação vermelho:vermelho distante no espectro de luz que chega a base da touceira. Kyriazopoulos et al. (2012) também mencionam a redução do perfilhamento em gramíneas sombreadas e Medinilla-Salinas et al. (2013) reportam que touceiras de gramíneas sob sombreamento têm seu diâmetro reduzido em função do menor número e diâmetro de perfilhos.

O menor perfilhamento em SSPs ocorre devido as menores taxas fotossintéticas, que causa a alocação de fotoassimilados para perfilhos já existentes, ao invés de novos perfilhos (BELESKY et al., 2011).

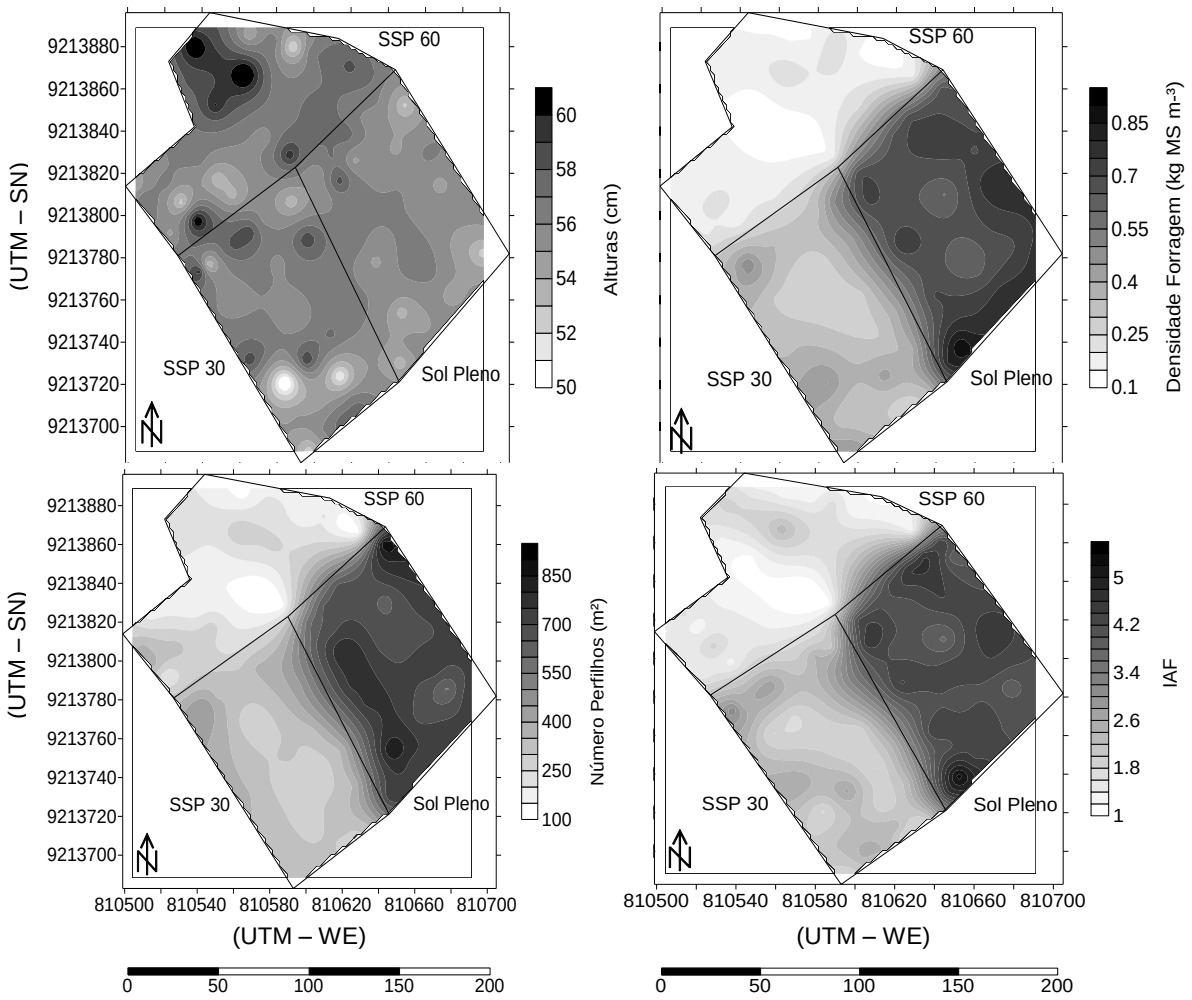


Figura 9. Mapas de contorno da distribuição espacial dos atributos agronômicos altura do dossel, densidade de forragem, número de perfilhos e IAF do capim Mombaça cultivado em SSPs com 30 e 60% de sombreamento e em Sol Pleno, e que apresentam significância na formação de componentes principais.

Estes resultados evidenciam a possibilidade de formação de SSPs com capim mombaça sob floresta de Babaçu, com predição da produção de forragem em função do arranjo e densidade de palmeiras por hectare (PACIULLO et al., 2011). Embora os SSPs tenha produzido menos forragem que o sistema Sol pleno, este modelo reincorporou ao sistema de produção áreas antes ociosas,

podendo melhorar o solo, apoiando a biodiversidade e reduzindo as interferências atrópicas, promovendo a ciclagem de nutrientes de forma mais eficiente.

4.4. CONCLUSÕES

A formação de sistemas integrados floresta-pasto, em áreas de floresta secundária, com palmeira de Babaçu e capim Mombaça, é possível, mas a produção da forrageira é reduzida com o aumento dos níveis de sombreamento para 30 e 60%. Há uma dependência espacial dos atributos agronômicos e morfogênicos bem estruturada, que ocorre em função do sombreamento.

Os sistemas silvipastoris alteram os padrões morfofisiológicos do capim em relação a Sol Pleno. Nestes ambientes há menor taxa de acúmulo de MS de forragem, menor porcentagem de massa seca e menor perfilhamento, o que reduz o IAF e a densidade de forragem. Também, nestas áreas, há maiores taxas de alongamento de colmo e de folhas e menor senescência foliar, que resulta em maior alongamento total e líquido do capim, bem como maiores alturas. Estas são as características que mais servem para distinguir sistemas integrados e monocultivo e, portanto, mais afetas pelo sombreamento.

.

4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBIERO, D.; MACIEL, A.J.S.; LOPES, A.C.; MELLO, C.A.; GAMERO, C.A. Proposta de uma máquina para colheita mecanizada de babaçu (Orbignya halerata Mart.) para a agricultura familiar. **Acta Amazonica**. v.3, n.3, p.337 - 346, 2007.

ARAÚJO, R.A.S.; CUNHA, F.F.; WENDLING, I.J.; SILVA, C.F.; CALAZANI, W.R.; EMERICK, J.A.N. Morfogênese e crescimento do capim-marandu consorciado com coco-anão sob irrigação e intervalos de desfolha. **Bioscience Journal**. v. 27, n. 6, p. 856-864, 2011.

BARUCH, Z.; GUENNI, O. Irradiance and defoliation effects in three species of the forage grass Brachiaria. **Tropical Grasslands**, v.41, n.1, p.269‑276, 2007.

BELESKY, D,P,; BERNER, D.M.; RUCKLE, J.M. Tiller production in cocksfoot (*Dactylis glomerata*) and tall fescue (*Festuca arundinacea*) growing along a linght gradient. **Grass and Forage Science,** Oxford, v.66, n.3, p. 1-11, 2011

CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R.F.; KONOPKA, A.E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa Soils. **Soil Science Society of America Journal**. v.58, n.5, p.1501-1511, 1994.

CASTRO, C.R.T.; GARCIA, R.; CARVALHO, M.M. Produção forrageira de gramíneas cultivadas sob luminosidade reduzida. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v. 28, n.5, p.919-927, 1999.

CEPEM – **Centro de Pesquisas Eco-naturais**: Disponível em: http://www.cepen.com.br/arv_nat_glossario_ho.htm. Acesso em: 25/10/2010.

COLLIER, L.S.; LARA, M.A.S.; VILELA, L.; SIQUEIRA, F.L.T. **Recomendação de adubação e calagem a partir do manejo da fertilidade de solos cultivados com pastagens no Cerrado**. In: Santos, A.C. (ORG.). Manejo de solos sob pastagens Tropicais, 2008. p.12.

DEVKOTA, N.R.; KEMP, P.D.; HODGSON, J.; VALENTINE, I.; JAYA, I.K.D. Relationship between tree canopy height and the production of pasture species in a silvopastoral system based on alder trees. **Agroforesty System**. v.76, n.2 p. 363–374, 2009.

EMBRAPA. 2006. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasilia: Embrapa produção de informacao. 306p.

FRANK, A.B.; HOFMAN, L. Light quality and stem numbers in coold-season forage grasses. **Crop Science**, v.34, n.2 p.468-473, 1994.

GOLDEN SOFTWARE. 2002. **Surfer for Windows version 8.0**. Colorado: Golden.

GUENNI, O.; SEITER, S.; FIGUEROA, R. Growth responses of three Brachiaria species to light intensity and nitrogen supply. **Tropical Grasslands**, v.42, n.1, p.75-87, 2008.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espacias**. Estimativa das emissões de CO^2 por desmatamento na amazônia brasileira**. Relatório técnico sintético. 2009. Disponível em: <http://www.inpe.br/>. Acesso: Out. 2013.

KOUKOURA, Z.; KYRIAZOPOULOS, A.P.; PARISSI, Z.M. Growth characteristics and nutrient content of some herbaceous species under shade and fertilization. Spanish Journal of **Agricultural Research**. v.7, n.2, p. 431 – 438, 2009.

KYRIAZOPOULOS, A.P.; ABRAHAM, E. M.; PARISSI, Z. M.; KOUKOURA, Z.; NASTIS, A. S. Forage production and nutritive value of Dactylis glomerata and Trifolium subterraneum mixtures under different shading treatments. **Grass and Forage Science**, v.68 n.1, p. 72–82, 2012

LANDIM, P.M.B. **Sobre geoestatística e mapas**. Terra e Didática, v.2, p.19-33, 2006.

LEMAIRE, G.; DA SILVA, S.C.; AGNUSDEI, M.; WADE, M.; HODGSON, J. Interactions between leaf lifespan and defoliation frequency in temperate and tropical. pastures: a review. **Grass and Forage Science**. v.64, p.4 341–353, 2009.

MARDIA, K. V.; KENT, J. T.; BIBBY, J. M. **Multivariate analysis**. London: Academic, 1979. 521 p.

MATHERON, G. 1963. Principles of geostatistics. **Economic Geology**. v.58, n.8: 1246-1266p.

MEDINILLA-SALINAS, L.; VARGAS-MENDOZA, M.C.; LÓPEZ-ORTIZ, S.; VILA-RESÉNDIZ, C.A.; CAMPBELL, W.B.; GUTIÉRREZ-CASTORENA, M.C.Growth, productivity and quality of Megathyrsus maximus under cover from Gliricidia sepium.**Agroforest System**. v.87, n.4, p.891–899, 2013.

MINASNY, B.; McBRATNEY, A. B. **FuzMe version 3.0**. Australian Center of Precision Agriculture, The University of Sidney. 2002.

MÜLLER, D.M.; FERNANDES, E.N.; CASTRO C.R.T.; PACIULO, D.S.C.; ALVES, F.F. Estimativa e acúmulo de biomassa em sistema agrosilvipastoril na Zona da Mata Mineira. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v.11, n.60, p.11-17, 2009.

MUNIZ, F.H. **A vegetação da região de transição entre a Amazônia e o nordeste, diversidade e estrutura**. In: De MOURA,E.G. Agroambientes de transição avaliados numa perspectiva da agricultura familiar. Programa de Pós-Graduação em Agroecologia da Universidade Estadual de Maranhão – MA, 2004. p.53-69.

OLIVEIRAI, F.R.L.; RAMOS, V.A.M.M.S.; SANTOS, L.D.T.; OLIVEIRA, N.J.F.; GERASEEV,L.C. Comportamento de Andropogon gayanus cv. 'planaltina' e Panicum maximum cv.'Tanzânia' sob sombreamento. **Ciência Rural**. v.43, n.2, p.348-354, 2013.

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

PEREIRA, E.B.; MARTINS, F.R.; ABREU, S.L.; RÜTHER, R. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**.1ª Ed. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT. São José dos Campos-SP. 2006.

ROBERTSON, G.P. 1998. GS+: **Geostatistics for the environmental sciences – GS+ User's guide**. Plainwell, Gamma Design Software. 152p.

ROZADOS-LORENZO, M.J.; GONZALEZ HERNANDEZ, M.P.; SILVA PANDO, F.J. Pasture production under different tree species and densities in an Atlantic silvopastoral system. **Agroforestry Systems**, v.70, n.1, p.53-62, 2007.

SCHROTH, G.; MCNEELY, J.A. Agroforestry and biodiversity conservation-traditional practices, present dynamics and lessons for the future. **Biodiversity Conservation**. v. 15, n.2, p. 549–554, 2006.

SILVA NETO, S.P.; SANTOS, A.C.; LIMA LEITE, R.L.; DIM, V.P.; NEVES NETO, D.N.; DA CRUZ, R.S. Dependência espacial em levantamentos do estoque de carbono em áreas de pastagens de Brachiaria brizantha cv. Marandu**. Acta Amazonica**. v.42, n.4, p.547 – 556, 2012.

SOUSA, L.F.; MAURÍCIO, R.M.; GONÇALVES, L.C.; SALIBA, E.O.S.; MOREIRA, G.R. Produtividade e valor nutritivo da Brachiaria brizantha cv. Marandu em um sistema Silvipastoril. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**. v.59, n.4, p.1029-1037, 2007.

VICINI, L. **Análise multivariada da teoria à prática**. Santa Maria - RS: UFSM, Maria, 2005, 95 p. (CCNE).

VIEIRA, S. R. **Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo**. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Ed.). Tópicos em

ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 1, p. 1-53, 2000.

VODOUHE, G. F.; COULIBALY, O.; BIAOU, G.; SINSIN, B. Traditional agroforestry systems and biodiversity conservation in Benin (West Africa). **Agroforestal System**. v. 82, n.1, p. 1–13, 2011.

VOLENEC, J.J.; NELSON, C.J. **Environmental aspects of forage management**. In: BARNES, R.F. (Eds.). Forages: an introduction to grassland agriculture. 6.ed. Ames: Blackwell, 2003. p.99-124.

WARRICK A.W.; NIELSEN, D.R. 1980. **Spatial variability of soil physical properties**. In the field. In: HILLEL, D. (Ed.). Application of soil physics. New York: Academic Press. 319-344p.

YAMAMOTO, W.; DEWI, I.A.; IBRAHIM, M. Effects of silvopastoral areas on milk production at dualpurpose cattle farms at the semihumid old agricultural frontier in central Nicaragua. **Agricultural Systems**, v.94, n.2, p.368-375, 2007.

5.0 DESEMPENHO DE OVINOS E CARACTERIZAÇÃO DO PASTO EM SISTEMA AGROFLORESTAL NO ECÓTONO CERRADO:AMAZÔNIA

Resumo

Sistemas agroflorestais podem ser alternativa para a reincorporação de áreas em desuso, sob floresta secundária de babaçu (*Attalea speciosa*, Mart), para produção ovina, de modo sustentável. Este estudo buscou avaliar o desempenho de ovinos mestiços em sistesma integrado de capim Mombaça e floresta secundária de babaçu, comparando com sistema convencional de produção a sol pleno. O sistema silvipastoril possuía 120 palmeiras de babaçu ha^{-1}, distribuídas aleatoriamente, promovendo sombreamento de 30% e o sistema a sol pleno não possuía nenhuma árvore. Nestes dois sistemas foram avaliadas as condições climatológicas e as características agronômicas e bromatológicas da gramínea. Nos animais foram avaliados o ganho de peso, o consumo de forragem, a conversão alimentar, os processos de deslocamento e a produtividade animal média dos diferentes ambientes. Foi observado que a exploração ovina em sistema silvipastoril de floresta secundária com espécies arbóreas nativas do ecótono Cerrado:Amazônia é possível, mas há redução do desempenho animal em relação o sistema tradicional de exploração. O ambiente no sistema integrado é quente e úmido, e a densidade de forragem é baixa, em relação o sistema convencional, fazendo com que os animais gastem mais energia para manter a homeostase e procurar alimento. A produtividade animal do sistema integrado é inferior ao sistema convencional. O acúmulo de forragem e o perfilhamento no sistema integrado são reduzidos e há diminuição da capacidade de suporte. Apesar da redução da produtividade no sistema integrado, sua exploração possibilitou a produção de aproximadamente metade do que foi produzido no sistema convencional, em uma área antes improdutiva.

Palavras chave: Ovinocultura, sistema silvipastoril, floresta secundária, palmeira babaçu.

Abstract

Agroforestry systems can be an alternative for the reintroduction of disused areas, in secondary forest babaçu (*Attalea speciosa* Mart.) for sheep production, more sustainable way. This study evaluated the performance of crossbred sheep in an integrated systems grass Mombasa in secondary forest babaçu, compared to a conventional production system in full sun. The silvopastoral system had 120 babaçu palm ha^{-1}, randomly distributed, providing a shading system and 30%. Full sun had no tree. In these two systems the weather conditions and the agronomic and chemical characteristics of the grass were evaluated. In animal weight gain were evaluated, forage intake, feed conversion and the processes of displacement. Animal productivity of different environments was also calculated. It was observed that ovine silvopastoral system in secondary forest with native species of the ecotone Savannah: Amazon is possible, but there is reduction in animal performance compared to the traditional system of exploitation. The integrated environment is warm and humid, and the density of forage is low, compared to the conventional system, causing the animals expend more energy to maintain homeostasis and search for food. The animal production integrated sistem is lower than the conventional system. The herbage accumulation and tillering in the integrated system are reduced and there is decreased ability to support. Despite the reduction in productivity in the integrated system, its operation made possible the production of about half of what was produced in the conventional system.

Keywords: Sheep, silvopastoral system, secondary forest, babassu palm.

5.1 INTRODUÇÃO

A ovinocultura no estado do Tocantins apresenta importância secundária em relação à bovinoculura de corte e leite. No ano de 2012 o estado ficou classificado na vigésima posição perante os demais estados do Brasil, quanto ao rebanho ovino, com apenas 108.062 cabeças, corespondendo a 0,6% do efetivo nacional (IBGE, 2012). As causas do baixo efetivo e do desempenho desta categoria estão associadas a condução da atividade de forma empírica e extrativista (OLIVEIRA et al., 2012; POLI et al., 2008), bem como a tradição na exploração da pecuária bovina.

Uma possível alternativa para o aumento da produção ovina no estado, sem gerar concorrência por áreas com a pecuária de corte, e diversificar a renda, seria a utilização de zonas ociosas dentro das propriedades, caracterizando sistema alternativo de produção a pasto, haja vista as vantagens econômicas desta modalidade de produção e a qualidade mercadológica, sensorial e nutracêutica do produto gerado (POLI et al., 2008).

Áreas improdutivas são normalmente o resultado da degradação agrícola, sendo negligentemente abandonadas. Nestas áreas ocorre um processo de restauração natural da vegetação, dando origem às florestas secundárias ou capoeiras. No Tocantins estima-se que 15% das áreas abertas são constituídas por florestas secundárias. Para a Amazônia Legal a estimativa é de 24% (INPE 2009).

Na região do ecótono Amazônia:Cerrado, que inclui o norte do Tocantins, uma espécie nativa de presença marcante em floresta secundárias, é o Babaçu (*Attalea speciosa*, Mart), que exerce papel chave do ponto de vista social, econômico/cultural e ambiental nas regiões norte e nordeste do Brasil. Esta espécie possui características farmacológicas e industriais e é passível de formar sistemas pecuários-florestais (CEPEM, 2010), logo, estas florestas secundárias de babaçu têm potencial de serem reincorporadas ao processo de produção, de modo a compor sistemas silvipastoris (SSP), que podem ser explorados pela ovinocultura.

Os SSPs podem ser uma alternativa para a reincorporação de áreas sob floresta secundária no sistema de produção das fazendas do norte do país, pela formação de sistemas integrados floresta-pasto, com espécies arbóreas nativas.

Estes sistemas, além de aumentarem a capacidade de eficiência de utilização de recursos, possuem características ecológicas e conservacionistas. Vários autores (PACIULLO et al., 2011; VOUDOUHE, 2011; BUERGLER, FIKE e BURGER, 2006) citam os benefícios destes ambientes, como: conforto térmico, maior valor nutricional do sub-bosque, aumento da oferta de forragem verde durante o ano, melhor qualidade e conservação do solo, ciclagem de nutrientes, dentre outros.

A possibilidade da formação de sistemas agroflorestais com pequenos ruminantes é viável. Os estudos de Rai e Rai, (2010) revelaram que cordeiros apascentados em sistemas silvipastoris podem apresentar ganho de peso de 69 g dia^{-1}, e que o desempenho nestes sistemas pode ser 39% maior que numa pastagem convencional. Estes autores ainda observaram que os animais em sistema silvipastoril poderiam manter seu peso corporal em períodos de seca, sem suplementação, enquanto que os animais em pastagem convencional necessitam da suplementação.

O desempenho de cordeiros em sistema de integração floresta pasto, com as espécies arbóreas *Albizia amara* e *Leucaena leucocephala* e a gramínea *Chrysopogon fulvus* foi avaliado por Rai et al. (1998). Neste sistema foi concluído que os animais podem ganhar até 50 g dia^{-1} de peso vivo e que sistemas silvipastoris podem permitir taxas de crescimento razoáveis para ovinos. Já Rao et al. (2013) avaliaram o desempenho de ovinos pastejando a forragem acumulada em um sistema silvipastoril e a forragem acumulada em um sistema convencional. Eles observaram que o ganho médio diário para os cordeiros na silvipastagem foi de 87,2 g, ao passo que o ganho para os cordeiros no pasto convencional era de 59,1 g. Os autores atribuiram as diferenças ao aumento do teor de proteína bruta da forragem no sistema integrado.

Diante desta breve compilação fica evidente a possibilidade da adoção da técnica de integração floresta-pasto para a reicorporação de áreas abandonadas que se encontram sob floresta secundária de modo a gerar um sistema de produção de ovinos mais ecologicamente correto.

O objetivo com este estudo foi avaliar um sistema silvipastoril com espécies arbóreas nativas do ecótono Cerrado:Amazônico, caracterizar o pasto e o desempenho e a produtividade do cordeiros neste sistema, em comparação com o sitema convencional de exploração.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

5.2.1 Localização

As áreas experimentais localizaram-se na fazenda da Escola de Medicina Vetrinária e Zootecnia da Universidade Federal do Tocantins, Araguaína –TO, entre os paralelos 9213700 e 9213900 UTM-NS e meridianos 810500 e 810780 UTM-EW. De acordo com a classificação Köppen (1948) o clima da região é classificado como Aw (quente e úmido) com precipitações anuais médias de 1800 mm e temperaturas máximas de 40 ºC e mínimas de 18 ºC. A umidade relativa do ar média anual é de 76%. O solo da área experimental foi classificado, de acordo com o SiBCS - Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006) com Argissolo Vermelho Eutrófico.

5.2.2 Sistemas de produção – áreas experimentais

A área total utilizada no estudo apresentam histórico de abertura de mais de 25 anos, com uso de fogo e posterior implantação de pastagem cultivada, não adubada e sem manejo de colheita do pasto. Parte da área foi abandonada logo após degradação do pasto, dando origem a floresta secundária com forte presença da palmeira Babaçu (*Attalea speciosa*, Mart) em sua composição florística. A outra parte da área foi utilizada até o ano de 2005, sendo também abandonada, dando origem a uma capoeira rala.

Nas áreas sob floresta secundária de Babaçu foi estabelecido um sistema de integração floresta-pasto, caracterizando o sistema silvipastoril (SSP) com as espécies arbóreas nativas (Babaçu) e a gramínea *Panicum maximum* Jacq. cv. Mombaça, conforme metodologia de Tornquist et al. (1999). Estas áreas foram raleadas preservando-se as palmeiras. Uma primeira área foi raleada até obter-se 30% de sombreamento, dando origem ao SSP 30: nível moderado de sombra (OLIVEIRA et al., 2013). No preparo destas áreas foi realizado o desbaste manual das espécies arbóreas cocorrentes com o babaçu de forma aleatória. Para isso utilizou-se machado e moto-serra. Também foi realizada a destoca (remoção da base dos caules das árvores) das áreas. A biomassa derrubada foi removida das áreas.

O ajuste do sombreamento foi realizado a partir da tomada da medida de iluminância (Lux) com o auxílio do luxímetro, modelo LD 200 *Instrutherm*. Estas medições foram realizadas em 50 pontos dentro do SSP em uma malha (grid) construída de forma equidistante e representativa. As leitura de quantidade de luz foram realizadas entre as 11:30 am e 13:00 pm, com sol a pino (aproximadamente ao meio dia), sendo comparadas com leituras a sol pleno (SP) conforme Belesky et al. (2006). As leituras ocorreram durante o processo de abertura das áreas (raleamento), orientando a necessidade ou não de remoção de árvores em zonas distintas, após a abertura e limpeza completa das mesmas e periodicamente (em média a cada dois meses) durante o período experimental. A partir destas mensurações foi calculada a porcentagem de sombreamento da área, sendo: 100-{(leitura no SSP 30/leitura SP)*100} (SILVA NETO, 2012) mantendo a porcentagem de sombreamento ao longo do tempo por meio de podas periódicas.

Uma segunda área, com capoeira, foi roçada e tratada com herbicida, dando origem ao sistema convencional de produção à pasto: Sol Pleno (SP - monocultivo), onde não havia a existência de árvores, apenas um abrigo para os animais. A biomassa roçada tabém foi removida da área. As dimensões de cada área (sistema) foram: Sol Pleno: 6.500 m² e SSP 30: 7.042,2 m².

5.2.3 Correção e adubação do solo

Na área total do referido estudo, excetuando-se a floresta nativa, após realizado o diagnóstico inicial da condição química do solo (Tabela 1), foi efetuado o manejo de adubação para implantação da forrageira. Assim, foi distribuído o equivalente a uma tonelada ha^{-1} de calcário dolomítico nas áreas sob integração e sol pleno, com antecedência de 60 dias ao plantio do capim, já que as áreas integradas encontravam-se próximas a condição de potencial de carga zero (pH em H_2O = pH em CaCl), além de servir para homogeneizar a saturação por bases. Ainda foram aplicados, antes do plantio do capim, 120 kg de potássio (K - KCl), para elevar o teor de K entre 80 – 120 mg dm^{-3} (classificação agronômica: Bom) e 100 kg de fósforo (P – superfosfato simples) para elevar os valores de P entre 20 e 30 mg dm^{-3} (classificação agronômica: Muito Bom). A duabação

adotada, excedente a recomendação, foi empregada devido a condição de equilíbrio das cargas do solo (potencial de carga zero: pH em H_2O = pH em CaCl)

A adubação nitrogenada foi de 100 kg ha-¹de nitrogênio (N – ureia), independente da área, realizada na fase de estabilização (cobertura) da gramínea conforme recomendação de Collier et al. (2008), quando as plantas se encontravam com 5 a 8 perfilhos e de 2 a 3 folhas expandidas perfilho-¹. Corretivos e fertilizantes foram distribuídos manualmente, sem incorporação.

.

5.2.4 Plantio da forrageira

A gramínea implantada em todos os sistemas foi o capim Mombaça. O plantio, em novembro de 2011, foi realizado de forma manual, a lanço, a uma taxa de semeadura de 7 kg ha-¹ de sementes puras viáveis. Em outubro de 2012 foi realizado um corte de uniformização dos sistemas a 50 cm de altura e em novembro de 2012 deu-se início as coletas de dados das características agronômicas e as avaliações dos animais. As avaliações ocorreram ente novembro de 2012 e janeiro de 2013 em sistema de pastejo contínuo. O sistema de pastejo adotado foi o contínuo. A altura do dossel estabelecida foi de 50 cm dura todo o período experimental.

5.2.5 Dados climatológicos

As condições climáticas dos sistemas sol pleno e integrado foram monitoradas com estação meteorológica portátil (OLIVEIRA et al., 2012) modelo Tycon Tp-1080wc Pro Weatherstation – R, durante os meses de novembro e dezembro de 2012 e janeiro de 2013. O equipamento era instalado em um sistema, permanecia por período de 24 horas e então era transferido para o outro sistema, permanecendo lá por igual período de tempo até retornar ao primeiro sistema, caracterizando uma avaliação em dias alternados entre as duas áreas. Este acompanhamento se deu durante três meses. Os dados climáticos avaliados foram: umidade relativa do ar (%), temperatura (ºC), pressão atmosférica (Hpa), velocidade do vento (m s-¹), rajadas de vento (m s-¹), vento frio (ºC), ponto de orvalho (ºC) e precipitação (mm).

As informações climatológicas foram coletadas a cada cinco minutos e armazenadas no *data logger* da estação. Diariamente foram registrados 288

dados de cada características meteorológica avaliada. Estes dados compunham médias diárias. Os dados individuais diários de cada sistemas, por sua vez, compuseram médias semanais (Tabela 1).

5.2.6 Avaliações agronômicas do pasto

Para as avaliações da pastagem foram realizadas, a cada 28 dias (ciclo), cortes no pasto a altura de 20 cm do solo. A taxa de crescimento do pasto e acúmulo de forragem foi mensurada pela técnica de gaiolas de exclusão, sendo seis gaiolas de 1 m² por sistema avaliado. Além das amostras das gaiolas foram coletadas 30 amostras do pasto por sistema, em pontos representativos da altura média, para quantificação da massa de forragem disponível, em área de 0,5 m². Em cada ponto de coleta ainda foi realizada a contagem de perfilhos. A altura do pasto foi determinada em 50 pontos aleatórios por área. O material colhido no pasto e nas gaiolas foi separado nos componentes morfológicos folha, colmo e material morto. Estas frações foram secas e a partir dos resultados de massa seca (MS) foram calculados os valores de taxa de acúmulo de folha e taxa de acúmulo de colmo, expressos em g de MS m^{-2} dia^{-1} e kg de MS ha^{-1} dia^{-1}, disponibilidade instantânea de forragem, expressa em kg de MS de folha ha^{-1} e kg de MS total de forragem ha^{-1}, densidade de forragem e índice de área foliar.

As amostras do pasto referentes a massa da fração folha, oriundas dos três ciclos, compuseram uma única amostra composta, representativa destes ciclos. Esta amostra foi preparada para a análise bromatológica segundo o manual de Silva e Queiroz (2002) e foram feitas análises referente a proteína bruta, extrato etéreo, celulose e lignina. Segundo a metodologia descrita por Van Soest et al. (1991) foram determinado os teores de FDN e FDA.

5.2.7 Avaliações dos animais

Em novembro de 2013 também deu-se início as avaliações do desempenho de cordeiros nas áreas de SSP 30 e Sol Pleno. Em cada área foram introduzidos dez animais teste, sendo cinco ovinos machos castrados e 5 fêmeas, sem raça definida, deslanados, com peso médio de 21,45 kg (± 2,25). Nas duas semanas que antecederam o experimento os animais passaram por período de adaptação às áreas. Neste período eles também foram adaptados a utilizar fraldas

geriátricas e foram desverminados. As áreas foram providas de cocho para mineralização, bebedouros e abrigos cobertos e telados.

Tabela 1. Valores médios semanais de condições climatológicas em área de monocultivo de capim Mombaça (Sol Pleno – SP) e de integração floresta-pasto: capim Mombaça + Babaçu com 30% de sombreamento (Sistema Silvipsatoril – SSP 30).

Área	Semanas		Umidade (%)	Temperatura (ºC)	Pressão absoluta (Hpa)	Velocidade do Vento (m/s)	Rajada de vento (m/s)	Ponto de orvalho (ºC)	Vento frio (ºC)	Chuva/semana (mm)
SP	1º	01/11/12-07/11/12	66,01	22,18	817,47	0,51	1,41	20,00	21,66	35,32
SP	2º	08/11/12-15/11/12	82,45	26,08	970,14	0,44	1,29	24,17	25,37	96,34
SP	3º	16/11/12-23/11/12	85,73	25,62	971,04	0,66	1,79	24,27	25,55	103,99
SP	4º	24/11/12-30/11/12	78,06	24,63	919,55	0,53	1,50	22,81	24,19	78,55
SP	5º	01/12/12-07/12/12	86,70	26,62	980,41	0,86	2,12	23,91	25,42	14,30
SP	6º	08/12/12-15/12/12	91,31	25,81	981,70	0,62	1,66	24,00	25,63	23,85
SP	7º	16/12/12-23/12/12	87,65	25,19	983,00	0,52	1,40	23,42	24,78	32,33
SP	8º	24/12/12-31/12/12	82,56	25,16	946,19	0,59	1,59	23,23	24,66	29,66
SP	9º	01/01/13-07/01/13	92,63	23,82	982,31	0,18	0,91	23,02	23,58	47,24
SP	10º	08/01/13-15/01/13	89,12	26,21	986,13	0,80	1,93	24,61	25,84	46,72
SP	11º	16/01/13-23/01/13	91,12	26,40	987,33	0,68	1,71	24,78	25,97	49,52
SP	12º	24/01/13-31/01/13	97,02	25,39	986,39	0,11	0,64	24,44	25,16	80,30
SSP 30	1º	01/11/12-07/11/12	86,22	27,44	979,31	0,25	0,97	23,83	26,55	35,32
SSP 30	2º	08/11/12-15/11/12	82,16	26,02	979,90	0,44	1,25	24,01	25,15	96,34
SSP 30	3º	16/11/12-23/11/12	84,67	26,14	980,40	0,46	1,39	24,71	25,75	103,99
SSP 30	4º	24/11/12-30/11/12	86,03	25,55	981,25	0,67	1,22	24,17	25,49	78,55
SSP 30	5º	01/12/12-07/12/12	84,51	27,11	980,71	0,66	1,16	24,02	25,53	14,30
SSP 30	6º	08/12/12-15/12/12	87,95	29,92	982,27	0,35	0,93	24,63	28,61	23,85
SSP 30	7º	16/12/12-23/12/12	88,54	25,20	983,22	0,17	0,78	23,59	24,74	32,33
SSP 30	8º	24/12/12-31/12/12	88,54	25,20	983,22	0,17	0,78	23,59	24,74	29,66
SSP 30	9º	01/01/13-07/01/13	92,34	25,09	983,07	0,33	1,11	23,11	23,90	47,24
SSP 30	10º	08/01/13-15/01/13	90,58	26,15	986,99	0,70	1,51	24,70	25,81	46,72
SSP 30	11º	16/01/13-23/01/13	97,20	25,59	986,46	0,20	0,78	21,15	32,71	49,52
SSP 30	12º	24/01/13-31/01/13	97,20	25,59	986,46	0,20	0,78	21,15	32,71	80,30
DesvPad			6,67	1,37	35,98	0,22	0,40	1,22	2,45	29,29

DesvPad.: Desvio padrão.

A avaliação dos parâmetros dos animais ocorreu durante três períodos consecutivos de 28 dias cada. O delineamento experimental foi em arranjo fatorial 3x2x2, a saber: três ciclos x dois sistemas (SP e SSP 30) x dois sexos.

O sistema de lotação contínua foi adotado como manejo das pastagens em ambas as áreas e a pastagem foi mantida a 50 cm de altura. A oferta de forragem foi programada para 12 kg MS de lâmina foliar para cada 100 kg de peso vivo (12 kg MSLF/100 kg PV) (Hodgson, 1990). Anteriormente ao inicio da avaliação de desempenho, e mensalmente, foi realizada a determinação da taxa de acúmulo da massa de forragem (kg MSLF/dia - TCC). Quinzenalmente foram tomadas medidas de alturas (50 pontos) que foram relacionadas com a oferta de MSLF pelo método de dupla amostragem, e auxiliava no ajuste da carga animal em função do suporte obedecendo a oferta de forragem. Sempre que altura se desviava 10% da altura desejada ocorria entrada ou saída de animais reguladores.

A TCC para a área de Sol Pleno foi de 43 kg de MSLF dia^{-1}. Isto permitiu o suporte de dezessete animais (0,65 hectares), logo, entraram sete animais reguladores. A TCC para a área de SSP 30 foi de 25,3 kg de MSLF dia^{-1}. Isto permitiu o suporte dos dez animais teste (0,7 hectares). Os cálculos de suporte foram refeitos mensalmente e a entrada ou saída de animais foi realizada quinzenalmente em função das alturas e das disponibilidades de forragem.

A avaliação do desempenho dos animais foi realizada em intervalos de 28 dias, conforme Hawke (1993) durante três ciclos. Os animais passavam por jejum de 12 horas e eram pesados em balança digital. A diferença dos pesos inicial e final era ganho de peso do período. Posteriormente foi calculado o ganho médio diário (GMD) em g dia^{-1}.

Para quantificar o consumo de matéria seca (CMS) foi utilizada uma metodologia de ingestão de forragem citada por Minson, (1990) e adaptada de Allden e Whittaker, (1970) com posterior aprimoramento pelo protocolo de Penning e Hooper, (1985) e equacionada pela metodologia de tempo de pastejo de Jamieson e Hodgson (1979). As adaptações foram a substituição de bolsas coletoras de fezes por fraldas geriátricas e o tempo de avaliação que foi aumentado de 45 para 100 minutos. Em seguida utilizou-se o consumo de 100

minutos para encontrar o consumo diário em fução do tempo de pastejo observado na avaliação comportamental.

Um dia antes da avaliação os animais eram ‘vestidos’ com sacos plásticos para se adaptarem. No dia seguinte o saco era substituído por fralda geriátrica. Os animais teste munidos de fraudas eram pesados e liberados para pastejo durante 100 minutos. Em seguida eram recolhidos e pesados novamente. Para avaliar as perdas insensíveis de peso um dos animais com frauda usava focinheira para evitar o consumo de forragem. As perdas eram calculadas pela diferença de massa corporal entre as pesagens. As fraldas eram eficientes na coleta de fezes e urina.

A partir dos valores obtidos pela diferença de peso dos animais com as fraldas antes e depois do pastejo, calculou-se o consumo de forragem pela equação: C={P2 – P1} + PI, em que C é o consumo de forragem (g de matéria verde (MV); P1 é o peso dos animais antes do pastejo; P2 é o peso após o pastejo e PI é a perda de peso insensível. O valor do consumo de forragem (g de MV) foi multiplicado pelo teor de MS do pasto e deu origem ao consumo em g de MS em 100 minutos. Posteriormente, calculou-se o CMS em 1 minuto. Para calcular o CMS diário foi realizado o comportamento ingestivo dos animais durante um dia. O tempo de pastejo, em minutos, foi multiplicado pela MS ingerida em 1 minuto, obtendo-se o CMS em kg dia^{-1}. Este protocolo se repetiu em cada período de avaliação de 28 dias.

A partir do CMS kg dia^{-1} foi calculado o consumo de MS em porcentagem do PV e a conversão alimentar (kg MS/kg PV).

Os padrões de deslocamento dos animais foram avaliados em novembro e dezembro de 2012 e janeiro de 2013. Foi feito o acompanhamento dos animais das 6:00 as 18:00 horas nos períodos da manhã e tarde simultaneamente em ambas as áreas (OLIVEIRA et al., 2012). Cada animal foi avaliado individualmente durante 10 minutos. Ao final das avaliações dos animais teste, repetia-se o processo nos mesmo animais ao longo do período de avaliação (06:00 as 18:00 horas), de modo a gerar médias por animal. Na avaliação foi registrado o número de estações alimentares e número de passos dados entre as estações. Os passos foram contados utilizando-se como critério a movimentação das patas dianteiras e cada estação alimentar foi definida como um semicírculo

onde o animal pasteja sem mover suas patas. A partir dessas observações foi determinado o número de estações alimentares realizadas em 10 minutos, o tempo por estação alimentar, o número de passos entre estações e o número de passos em 10 minutos.

5.2.8 Estatística

Os dados das características agronômicas e bromatológicas da forragem foram submetidos a análise fatorial (2x3) considerando os sistemas (SP e SSP 30) e os ciclos (1º: novembro, 2º: dezembro e 3º: janeiro). Os pontos do grid de coleta de dados e as gaiolas foram usados como repetições. O teste de Tukey, a 5% de probabilidade, foi usado para a comparação de médias. Quando verificada interações foi realisado o desdobramento dos fatores. O modelo matemático geral referente a cada resposta avaliada pôde ser representado pelo modelo linear aditivo:

$$Y_{ijkl} = \mu + T_i + \beta_j + (\beta T)_{jk} + \varepsilon_{ijkl}$$

em que: Y_{ijkl}= resposta de cada variável dependente; μ= média inerente as observações de cada resposta; T_i= efeito do i-ésimo tratamento (Sol Pleno ou SSP 30); β_j= efeito do j-ésimo ciclo; βT_{ji} = efeito da interação ciclo x tratamento; ε_{ijkl}= erro aleatório residual (variação do acaso sobre as observações).

Os dados das características relacionadas aos animais foram submetidos a análise fatorial (2x3x2) considerando as áreas (tratamentos: SP e SSP 30), os ciclos (1º: novembro, 2º: dezembro e 3º: janeiro), e o sexo dos animais (macho e fêmea). Cada animal foi considerado como uma repetição. O teste de Tukey, a 5% de probabilidade, foi usado par comparar as médias de desempenho e deslocamento dos animais. Quando verificada interações foi realisado o desdobramento dos fatores. O modelo matemático geral referente a cada resposta avaliada pôde ser representado pelo modelo linear aditivo:

$$Y_{ijkl} = \mu + T_i + \beta_j + \alpha_k + (\beta\alpha)_{jk} + (T\alpha)_{ik} + (\beta T)_{jk} + \varepsilon_{ijkl}$$

em que: Y_{ijkl}= resposta de cada variável dependente; μ= média inerente as observações de cada característica; T_i= efeito do i-ésimo tratamento (Sol Pleno ou SSP 30); β_j= efeito do j-ésimo ciclo; α_k= efeito do k-ésimo sexo animal; $\beta\alpha_{jk}$= efeito da interação ciclo x sexo; $T\alpha_{ij}$= efeito da interação tratamento x sexo; βT_{ji} = efeito da interação ciclo x tratamento; ε_{ijkl}= erro aleatório residual (variação do acaso sobre as observações).

Os dados de produtividade dos dois sistemas nos três ciclos avaliados, referentes a taxa de lotação, número de cordeiros por hectare, ganho de peso vivo por hectare por dia, ganho de peso vivo por hectare por período e capacidade de suporte não foram submetidos a análise estatística, sendo apresentados somente seus valores médios pontuais.

Os dados meteorológicos foram comparados pelo teste *t* para verificar o efeito do tratamento integrado – SSP 30 (grupo tratado) sob as condições climáticas, em relação o tratamento a sol pleno - SP (grupo controle). Cada tratamento apresentou doze observações (n=12), correspondente a cada semana, para cada características ponderada. Quando o valor de *t* calculado foi superior ao valor de *t* tabelado, em função dos graus de liberdade e do nível de significância considerado, assumiu-se haver diferença significativa entre as médias das populações de cada variável meteorológica em função dos tratamentos. Considerou-se o poder do teste em até 90% (10% de chance de aceita *H0* quando este é falso), como a chance de detectar real diferença entre as médias: nivel de significância de 0,1.

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.3.1 Respostas climatológicas

A umidade relativa do ar e a temperatura foram superiores na área de integração floresta pasto (SSP 30) em relação a área a sol pleno (SP) (Tabela 2). Ao se calcular o índice de conforto (ITU - índice de temperatura e umidade), conforme Kelly e Bond (1971) foram observados valores de 69,46 para SP e 70,26 para SSP 30 (Tabela 2). De acordo com Hahn (1985), o valor crítico de ITU para ovinos é de 71. Já segundo Du Preez et al. (1990b) o ITU é classificado como: normal = menor ou igual a 70; alerta = de 70 a 72; acima do índice crítico = 72 a 78; perigo = 78 a 82, e emergência = acima de 82. Logo, os animais

apascentados na área SSP 30 estiveram mais afastados da zona de termoneutralidade, estando dentro da zona de alerta, o que pode implicar em maiores necessidades de adaptações comportamentais ou fisiológicas para manter a homeostase.

Tabela 2. Médias trimestrais de condições climatológicas em área de monocultivo de capim Mombaça (Sol Pleno – SP) e de integração floresta-pasto: capim Mombaça + Babaçu com 30% de sombreamento (Sistema Silvipsatoril – SSP 30).

Áreas	UR (%)	(ºC)	PA (Hpa)	Vv (m s-¹)	Rv (m s-¹)	VF (ºC)	P.orv (ºC)	Chuva (mm)	ITU
SP	85 b	25,2 b	959,3 a	0,54 a	1,49 a	24,8 b	23,5 a	795,12 a	69,46
SSP 30	88 a	26,2 a	982,7 a	0,38 b	1,05 b	25,8 a	23,5 a	800 a	70,26
ns:	10	10	5	10	1	5	5	5	-
CV	12,68	9,51	27,17	18,49	26,9	8,83	6,87	5,68	2,59

Letras iguais nas colunas diferem ao nível especificado. UR: umidade relativa do ar; ºC: temperatura; PA: pressão atmosféria; Vv: velocidade do vento; Rv: rajadas de vento; VF: Vento frio; P.orv.: ponto de orvalho; ns: nível de significância; CV: coeficiente de variação; ITU: índice de temperatura e umidade.

Os maiores valores de umidade do ar na área SSP 30 foram resultados da maior umidade do solo, elevada evapotranspiração das árvores e menor renovação do ar devido a barreira que as árvores formam contra os ventos (SOARES et al., 2009).

A velocidade média dos ventos na área de SP (0,54 m s-¹) foi superior a velocidade média dos ventos na área SSP 30 (0,38 m s-¹) (Tabela 2). McDowell (1972) reporta velocidades dos ventos de 1,3 a 1,9 m s-¹ como ideais para a criação de animais domésticos. Valores dentro desta faixa de recomendação foram observados na forma de rajadas de ventos na área SP (1,49 m s-¹). A área SSP 30 apresentou ventos inferiores (1,05 m s-¹) ao mínimo recomendado, fato que colaborou para a manutenção de maiores valores de umidade e temperatura. A junção destas condições pode ter comprometido a sensação térmica dos animais e modificado suas condições fisiológicas, como aumento da taxa de respiração, que promove aumento do gasto da energia de mantença, já que Oliveira et al. (2005) citam que o aumento da temperatura ambiente de 38,6 para 39,9ºC pode elevar a temperatura retal e a frequência respiratória.

Resultados de menores velocidades dos ventos, maiores temperaturas e umidade relativa do ar ligeiramente mais alta, em sistemas silvipastoris, são reportados por Soares et al. (2009) e Sartor et al. (2007), que alegam que

presença de espécies arbóreas contribuem para que a temperatura não diminuía nestes ambientes devido a redução da troca de calor e perda de água. Hawke (1991) também reporta que SSP podem manter microambiente com temperaturas mais elevadas em relação a sistemas abertos, e que isso é benéfico em regiões de clima frio.

Os valores de pressão atmosférica, ponto de orvalho e precipitação não apresentaram diferenças entre as áreas. Ventos mais frios foram observados na área SP durante a noite, já que na área SSP 30 as árvores funcionavam como quebra ventos, mantendo mais alta a temperatura e a umidade.

5.3.2 Respostas agronômicas

O crescimento do pasto de capim Mombaça foi diferente entre os sistemas avaliados durante três períodos de avaliação (Tabela 3). A produção de folhas, expresso pela taxa de acúmulo de folhas (g de MS de folhas m^{-2} dia^{-1}) foi maior na área SP, em relação a área SSP, não havendo interações entre sistemas e ciclos. A média de acúmulo de MS de folhas dos três períodos de SP foi de 8,43 g m^{-2} dia^{-1}, sendo superior a média de acúmulo de MS de folhas dos três períodos de SSP 30: 3,6 g m^{-2} dia^{-1}. Quando se expressou o acúmulo de MS de folhas em kg ha^{-1} dia^{-1}, observou-se novamente que o acúmulo de forragem em SP foi superior a SSP 30. De modo geral, houve, no sistema SSP 30, redução de 56,5% no crescimento da gramínea

Alguns estudos apontam gramíneas dos gêneros *Brachiaria* e *Panicum* como tolerantes ao sombreamento moderado, graças a ajustes fisiológicos na taxa de alongamento foliar, aumento da relação parte aérea/raiz e área foliar específica, que lhes permitem manutenção do acúmulo de biomassa (PACIULLO et al., 2009) em ambiente com até 50% de sombreamento (BELESKY et al., 2011). Já os estudos de Soares et al. (2009) revelam que gramíneas do gênero *Brachiaria* são mais tolerantes ao sombreamento que gramíneas do gênero *Panicum*, em parte devido a maior exigência desta últimas. Este estudo revelou baixa capacidade de adaptação do capim Mombaça ao sombreamento imposto (30%). As divergências entre este ensaio e grande parte da literatura esta no fato

de que muitos testes com sombreamento são realizados com sombra artificial, que desconsideram a competição interespecífica entre as gramíneas e o bosque.

Os dados deste estudo se assemelharam aos de Devkota et al. (2009), que avaliaram o crescimento de quatro gramíneas sob três níveis de sombreamento (19, 77 e 88% de interceptação luminosa), e encontraram reduções de 59,63% do menor nível de sombreamento para o de maior sombreamento. Estes autores alegaram que, com o sombreamento, a redução da relação vermelho:vermelho distante, reduziu a fotossíntese pela diminuição do total de ondas nos comprimentos do azul e vermelho. Ainda supuseram que o efeito de competição por água e nutrientes, como no caso de degradação da serrapilheira, que possui elevada relação C:N (SOARES, et al. 2009), pode ter exacerbado a redução da produção.

Resultados similares também foram verificados por Cossens (1984) e Soares et al. (2009), que observaram que o sombreamento do capim Mombaça por *Pinus taeda* (33,12% de sombra) reduziu a produção de forragem em 26,34% e que somente um nível de sombreamento muito baixo, promovido por plantas espaçadas 15 x 3 m, manteve a produção similar ao sistema sol pleno.

Esta significativa redução da produção era esperada em menor frequência, haja vista que a literatura documenta que o capim mombaça é resistete a aproximadamente 50% de sombreamento (PACIULLO et al., 2009). Ainda, a radição global incidente no norte do Tocantins é de aproximadamente 5.95 kwh/m², equanto que na região sul e sudeste este valor e de aproximadamente 5,6 kwh/m² (PEREIRA e al., 2006). Estes valores sugerem que o sombreamento adotado nas regiões próximas ao plano equatorial poderiam ser maiores que aqueles documentados na literatura científica de trabalhos do sul do país, mas isto não foi comfirmado. É possível que a grande quantidade de nuvens no período avaliado (chuvas) tenham reduzido a radiação direta. De modo geral, o capim Mombça mostrou-se sensível a redução de 30% do fluxo de fótons fotossinteticamente ativos.

Outras explicações para a redução de produção de MS são dadas por Volenec e Nelson (2003), que atribuíram a menor produção de MS gramíneas em ambiente sombreado às menores taxas de transpiração, já que a umidade do ar é saturada, o que resulta em maior concentração de água nos tecidos e

consequentemente, em menor teor de MS, bem como por Hawke (1991), que reportam que os resíduos que caem do bosque se acumulam sobre a gramínea inibindo seu crescimento e permitindo a estabilização de invasoras, já que a gramínea é inibida. Estas condições foram constatadas no presente ensaio, onde as folhas (palhas) do babaçu que caiam, recobriam o pasto.

Reduções da produção de forragem em SSP também são relatadas por (BELESKY et al., 2011) e por Bird et al. (2010), que avaliaram a produção das gramíneas perenes *Rye-grass*, *Subterranean clover* e *Yorkshire fog-grass* em SSP com *Pinus radiata* com diferentes populações arbóreas: 0, 60, 200 e 815 árvores ha^{-1}, e verificaram produções (acúmulo de MS em kg ha^{-1} dia^{-1}) médias de 41,3, 35,46, 27,23 e 17,53 respectivamente. A redução da produção de forragem neste estudo em SSP 30 ainda é consistente com os resultados de Anderson e Moore (1987), Hawke (1991) e Hawke (1993), que trabalharam com SP e SSP e reportam reduções de até 32% em SSP com criação de ovinos, e atribuem a redução da produção do sub-bosque a competição com o bosque.

As taxas de acúmulo de colmo foram semelhantes entre os sistemas nos três ciclos avaliados (Tabela 3). Normalmente a literatura é enfática ao afirmar que o sombreamento de plantas de capim Mombaça promove o alongamento de suas hastes (ALEXANDRINO et al., 2005). Contudo, a não constatação deste fato neste estudo, pode estar relacionada a condição de que no SSP 30 o sombreamento na base da touceira foi diminuído pela redução da densidade do dossel das plantas, consequentemente menor IAF, enquanto que na área SP a maior densidade do dossel (maior IAF), tornou o acúmulo de colmo semelhante ao da área SSP 30. A arquitetura espacial das folhas do capim Mombaça também pode ter favorecido a chegada de luz na base da touceira em SSP 30.

O número de perfilhos na área SP foi superior a área SSP 30 nos três ciclos avaliados (Tabela 3). Na média dos ciclos, SP apresentou 637,4 perfilhos m^{-2}, ao passo que na área SSP 30 foram obervados apenas 330,9 perfilhos m^{-2}; uma redução de 51,9%. Este menor perfilhamento na área SSP 30, juntamente com a menor taxa de acúmulo de lâminas foliares promoveu uma redução na densidade de forragem ofertada e no índice de área foliar. Esta baixa densidade de forragem alterou busca por alimento dos ovinos em relação a área SP.

A redução do número de perfilhos na área SSP 30 está de acordo com relatos da literatura (DEVKOTA et al.,1998). Devkota et al. (2009), ao avaliarem o crescimento de quatro gramíneas sob três níveis de sombreamento (19, 77 e 88% de interceptação luminosa), encontraram NP de 728, 721 e 631 para os respectivos níveis de sombreamento.

Os estudos de Belesky et al. (2011) sob o perfilhamento de gramíneas forrageiras em ambientes sem sombra e com 40 e 80% de sombreamento, observaram que a redução da quantidade e da qualidade da luz promove redução do perfilhamento. Estes autores afirmam que a redução da energia fotosinteticamente ativa, expressa pela relação vermelho:vermelho distante, inibe o perfilhamento, em parte porque há menos fotossintados disponíveis para ativação das gemas. Ainda observaram que perfilhos sombreados produzem menos folhas, e consequentemente, possuem menor massa, situação também observada neste estudo. Estes autores ainda afirmam que gramíneas de maior taxa de crescimento tende a acumular menos carboidratos para posterior necessidade de rebrotação. Como o capim Mombaça apresenta elevada taxa de crescimento é possível que tenha havido deficiência de energia para a rebrota após o pastejo dos ovinos. O número de perfilhos se manteve baixo ao longo do tempo porque a energia armazenada possivelmento foi utilizada para o reestabelecimento do perfilho pastejado, faltando energia para a ativação de gemas (BELESKY et al., 2006).

Fatores como a competição por nutriente entre o bosque e o sub-bosque, a disponibilidade hídrica em SSP e SP, bem como diferenças na fertilidade do solo são causas de variações nas populações de perfilhos entre sistemas integrados e monocultivos (FELDHAKE et al., 2010).

Os valores de IAF da área SSP 30 foram inferiores aos valores de IAF da área SP nos três ciclos avaliados (Tabela 3). Em média, o valor de IAF de SP (4,7) foi 51,77% maior que o IAF de SSP 30 (2,43). Este resultado é explicado pelo menor acúmulo de LF e perfilhamento na área SSP 30. O fato de folhas de plantas sombreadas se tornarem mais alongadas (BELESKY et al., 2011), menos espessas e menos largas (WONG e WILSON, 1980), na tentativa de reduzir o sombreamento na base da touceira, é outro fator que torna o dossel menos denso, e consequentemente, reduz o IAF.

A altura das plantas não diferiu entre os sistemas, nos três períodos avaliados (Tabela 3). As alturas médias foram 54,1 cm em SP e 54,03 cm em SSP 30. Este resultado está relacionado ao fato de que no SSP 30 não houve aumento do alongamento de colmos. Soares et al. (2009) reporta que é comum na literatura a menção do estiolamento do colmos de plantas sob sombreamento. Neste estudo esta condição não foi verificada, em parte porque o sombreamento em SSP 30 chegou a inibir o completo desenvolvimento das plantas e porque o baixo IAF não estimulou o alongamento das hastes. Knake (1972) e Medinilla-Salinas et al. (2013) relataram que em situações de acentuada redução na luminosidade, as plantas apresentam crescimento geral reduzido devido a limitação da radiação.

5.3.3 Respostas bromatológicas

Os teores de proteína bruta (PB) das lâminas foliares (LF) do capim Mombaça no sistema SSP 30 foram superiores aos teores de PB da LF na área SP (Tabela 3). Em média houve aumento de 20% no teor de PB no ambiente sombreado. Estes resultados são comumente relatados na literatura (SOARES, et al., 2009; BUERGLER et al., 2006; GOBBI et al., 2010). Soares et al. (2009) encontraram aumento de 14% na PB de LF do capim Mombaça sombreado (33,12% de sombra) em relação as LF do mesmo capim cultivado a sol pleno. Todavia a produção de PB ha^{-1} na área SSP 30 foi inferior a da área SP, haja vista a menor produção de forragem.

Este aumento da PB pode estar relacionado ao fenômeno de maior teor de umidade e temperatura do ambiente sombreado, favorecendo as taxas de mineralização e ciclagem de nitrogênio (GOBBI et al., 2010), bem como ao efeito de diluição, explicitado por Leimare e Chartier (1992), onde a maior produção de MS e o incremento da parede celular, diluem o nitrogênio absorvido, enquanto em plantas de menor crescimento nem todo N absorvido é convertido em MS, devido a falta de luz, e acumula-se. Há ainda sugestões de que plantas sombreadas usam reservas de N para aumentar os teores de clorofila (FRANCO e DILLENBURGER, 2007).

Tabela 3. Características agronômicas e bromatológicas do capim Mombaça cultivado em pastagem convencional à sol pleno (SP) e em sistema Silvipastoril com 30% de sombreamento (SSP 30).

Sistemas	TAc folha (kg de MS ha-¹ dia-¹)			TAc colmo (kg MS ha-¹ dia)		
Ciclos	1º	2º	3º	1º	2º	3º
SP	78 a	104 a	71 a	13,3 A	1,8 B	1,4 B
SSP 30	32 b	40 b	38 b	8,4 A	1,7 B	0,9 B
CV: 19,5				CV: 68		
	DIF folha (kg de MS ha-¹)			DIF total (kg de MS ha-¹)		
SP	1119,2 aB	1839,7 aA	1752,4 aA	2615,6 aB	4153,8 aA	3383,2 aAB
SSP 30	418,5 b	616,8 b	706,9 b	1430,7 bA	1118,6 bA	1722,2 bA
CV: 30,1				CV: 28,01		
Densidade de forragem (kg de MS m-³)				IAF		
SP	0,909 aB	1,774 aA	0,992 aAB	4,8 a	5,4 a	3,9 a
SSP 30	0,539 bA	0,420 bA	0,477 bA	2,6 b	2,4 b	2,3 b
CV: 28,94				CV: 28,5		
	Número de perfilhos (m²)			Alturas das plantas (cm)		
SP	645,5 a	690,5 a	567,2 a	52,7	52,6	57
SSP 30	379,4 b	303,3 b	310,0 b	57,1	52	53
CV: 22,53				CV: 16,8		

Bromatológica (%)						
	PB	FDN	FDA	Celulose	Lignina	Hemicelulose
SP	10,8 b	64,9 a	37,3 a	39,2 a	6,06 a	26,7 b
SSP 30	13,5 a	66,5 a	36,7 a	36,04 b	5,01 b	29,8 a
CV	13,28	4,64	7,09	6,51	51,57	13,38

DIF: disponibilidade instantânea de forragem. Minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas.
TAc: Taxa de Acúmulo; DIF: Densidade instantânea de forragem; PB: Proteína bruta.

Os teores de FDN e FDA não diferiram entre os sistemas (Tabela 3). Em parte isto pode ter ocorrido devido a avaliação ter sido feita apenas nas LF e as amostras terem sido oriundas de três ciclos (compostas). A literatura documenta (TAIZER e ZEIGER, 2004) que plantas sombreadas, por possuírem menores taxas de crescimento e de maturação fisiológica, apresentam menores acúmulos de parede celular, enquanto que plantas expostas a maiores níveis de radiação e temperatura podem elevar a deposição de lignina na parede celular (BARRO et al., 2008). Ainda, as menores taxas fotossintéticas poderiam reduzir a quantidade de carboidratos fotossintetisados, que diminuiria o aporte de compostos para confecção da parede celular (KEPHART e BUXTON, 1993). Contudo, estes eventos não foram observados neste estudo e sim a não alteração de FDN e FDA, como observado também por Soares et al. (2009) e Paciullo et al. (2009).

Episódios desta natureza são reportados por Deinum et al. (1996), que citam efeitos inconsistentes da sombra nos teores de fibra de forrageiras sombreadas que afirma que dependendo da espécie, época do ano e percentagem de

sombreamento, ocorre aumento, redução ou ausência de efeitos do sombreamento sobre os teores de FDN e lignina.

Apesar de não ter sido constatada diferenças nos teores de FDN e FDA entre os sistemas, a área a SP apresentou maiores teores de celulose e lignina e menores teores de hemicelulose (Tabela 3) em relação a área SSP 30. Logo, é possível que na área SSP 30 tenha sido depositada mais hemicelulose na parede celular em relação a celulose, contribuindo para não alteração dos teores de FDN. Menores porcentagens de celulose e lignina nas folhas do capim cultivado em SSP 30 estão associadas ao menor desenvolvimento devido a menor radiação que diminui o avanço da maturação e altera a fenologia (desenvolvimento em função do ambiente) e a morfogênese.

A hemicelulose é um polímero de pentoses que funciona como uma matriz para a celulose. É ela que promove o espaçamento entre as fibras de celulose. Nas situações de sombreamento as folhas das gramíneas se tornam mais alongadas, e consequentemente, suas células. O maior alongamento da parede celular pode ser conseguido com o afastamento das fibras de celulose, devido o aumento da hemicelulose. Isto também permite que mais luz ultrapasse a parede celular e promove uma diluição da celulose e lignina na parede celular (TAIZER e ZEIGER, 2004).

5.3.4 Desempenho animal

O desempenho dos animais na área SP foi superior ao desempenho dos animais na área SSP 30, nos três ciclos avaliados (Tabela 4). O GMD foi de 68 g em SP e 42 g em SSP 30. Não foi constatada diferença significativa entre sexo para GMD e não houve interação entre as áreas e sexo e entre ciclos e sexo. A falta de efeito do fator sexo esta relacionada ao fato de os animais machos serem castrados, bem como por se tratar de animais jovens.

No segundo ciclo os animais apresentaram GMD superior ao primeiro e terceiro ciclo, em ambas as áreas estudadas. Esta resposta pode estar relacionada às condições ambientais neste ciclo. Na Tabela 1 é apresentada a precipitação semanal durante os três ciclos de avaliação. A 5º, 6º, 7º e 8º semana, na referida tabela, em ambas as áreas, são referentes ao segundo ciclo (mês de dezembro). Pode-se observar que nesta época houve redução da precipitação

em relação aos outros dois ciclos. Este veranico possivelmente favoreceu a atividade de pastejo dos animais em ambas as áreas, já que era observada visualmente a recusa dos animais ao pastoreio em dias chuvosos ou até mesmo quando a pastagem encontrava-se excessivamente molhada.

Na literatura é bem documentado que em ambientes sombreados ocorre maior desempenho animal. Rai e Rai (2010) reportam desempenho superior (39% a mais) para ovinos apascentados em SSP em relação a ovinos apascentados em sistema convencional. Rao et al. (2013) encontraram ganhos de ovinos em SSP da ordem de 87 g dia^{-1}, e de 59 g em sistema convencional. As diferenças entre estes estudos e o presente trabalho podem estar relacionadas ao fato que o sombreamento, neste ensaio, piorou a condição ambiental e reduziu a disponibilidade de forragem, alterando os padrões de deslocamento dos animais em busca de alimento. O pasto em SSP 30 encontrava-se extremamente heterogêneo, o que pode ser constatado pelo coeficiente de variação (CV) médio dos dados coletados nos três ciclos de avaliação, que foi de 46,76%, enquanto que o CV médio em SP foi de 18,63%, demostrando maior homogeneidade do pasto nesta área, o que facilita os prcessos de apreenssão de forragem.

Hawke (1991) e Hawke (1993) reportam que o sombreamento reduz disponibilidade de forragem e a qualidade do pasto e que isso restringe o desempenho de ovinos. Eles recomendam o máximo de 50 árvores ha^{-1} para minimização dos efeitos negativos sob a produção, mas que existe variação do desempenho dos animais entre as estações do ano, sendo os SSP melhores nas épocas de estiagem.

Comparando ovinos Santa Inês criados em SSP e SP Andrade et al. (2007) não observaram melhor desempenho dos ovinos mantidos em SSP, embora a condição ambiental tenha sido melhorada neste sistema, em relação a SP. Já Bird et al. (2010) ao avaliarem a resposta produtiva de ovinos inseridos em SSP de *Pinus radiata* com diferentes populações arbóreas: 60, 200, 815 e 11,090 árvores ha^{-1} e em sistema sem árvores, observaram que a produção do pasto dimunuiu nos SSPs devido efeitos de sombreamento e competição, e que também houve redução linear do ganho de peso dos animais com o aumento do número de árvores. Eles observaram que nos sitemas 60, 200 e 815 árvores ha^{-1} houve redução do desempenho de 64, 16 e 43% em relação ao GMD em SP. Já no

sistema 11,090 árvores ha^{-1} não houve produção animal. Hawke (1991) ao avaliar SSP com 0, 50, 100 e 200 árvores ha^{-1} verificaram GMD de 17,80, 16,43, 15,06 e 10,95 g respectivamente.

Avaliando cordeiros em SSP Anderson e Moore (1987) e Hawke et al. (1993), também observaram menor desempenho destes animais em relação a animais criados em SP. Hawke et al. (1993) observaram que o aumento do sombreamento pela adição de árvores na pastagem (0, 50, 100 e 200 plantas ha^{-1}), reduziu o GMD de 170 , 155, 136 e 94 g ovelha^{-1} dia^{-1}. Eles atribuíram a menor produção as piores condições dos pastos, ao aumento do ataque de parasitas e ao ingestão de resíduos da floresta de baixa digestibilidade nestes SSP. Estes resultados estão de acordo com observado neste estudo, onde foi constatado um maior ataque de exoparasitas nos animais em SSP 30, bem como o consumo de resíduos da floresta de babaçu. Hawke (1991) e Jackson et al. (1986) ainda afirmam que em SSP há maior sobrevivencia de larvas de endoparasitas, tornando a contaminação de ovinos mais favorecida, e que embora a infestção não seja crítica, ela reduz o desempenho.

Tabela 4. Ganho médio diário - GMD (g dia^{-1}) de ovinos apascentados em pastagem convencional de capim Mombaça a sol pleno (SP) e em sistema Silvipastoril com 30% de sombreamento (SSP 30).

Ciclos	Sol Pleno		SSP 30		Média Ciclo
	M	F	M	F	
1º	57 Ba	47 Ba	35 Bb	26 Bb	41 B
2º	101 Aa	105 Aa	71 Ab	73 Ab	87 A
3º	52 Ba	50 Ba	19 Bb	13 Bb	43 B
Média Sexo	70 a	67 a	41 a	37 a	
Média Tratamento	68 a		42 b		
Média Geral	55			CV	30,4

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes nas linhas diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Médias seguidas de letras maiúsculas diferentes nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Outro fator que pode explicar os menores GMD no SSP 30 é que embora a oferta de forragem (kg de MS ha^{-1} dia^{-1}) tenha sido a mesma que para SP, valores de MS total de forragem inferiores a 2000 kg/ha tendem a reduzir o desempenho de ovinos (HAWKE, 1993) devido alterações no pastejo. O valor médio de disponibilidade de MS total, para os três ciclos em SSP 30, foi de

1423,3 kg/ha, sendo inferior ao preconizado pelo referido autor. De modo geral os ganhos no SSP 30, quando comparados com resultados a nível nacional, são razoáveis, haja vista os ganhos de peso de ovinos sem raça definida criados em sistema extensivo serem da ordem de 43 g dia^{-1} (ITALIANO e ARAÚJO NETO, 2006).

O consumo de forragem, expresso em kg de MS dia^{-1} (Tabela 5) e porcentagem de peso vivo (%PV), (Tabela 6), foi superior na área SP (0,68 kg de MS dia^{-1} e 2,82%) em relação a área SSP 30 (0,61 kg de MS dia^{-1} e 2,60%). O consumo em kg de MS dia^{-1} e % de PV não diferiu entre os sexos e aumentou do 1º para o 3º ciclo. Foi observada uma interação entre os sistemas e os ciclos. No 1º ciclo o consumo expresso em kg de MS dia^{-1} foi maior na área SP, enquanto que no 2º e 3º ciclo, o consumo foi similar entre os dois sistemas. Quando expresso em % PV, não houve interação.

O maior consumo de forragem na área SP é explicado pelo fato de nesta área ter existido uma melhor condição do pasto (maior número de perfilhos, maior disponibilidade instantânea de forragem e maior densidade de forragem – Tabela 3), embora a oferta de MS de LF por animal tenha sido igual nas duas áreas. Nesta situação, o consumo, a seleção e o comportamento em pastejo foram favorecidos, já que os animais puderam reduzir o tempo de procura de forragem e aumentar o tempo de ingestão de alimento. Já no SSP 30 a menor densidade de forragem fez com que os animais tivessem maior tempo de procura por alimento. Este é um dos fatores que pode ter determinado o maior GMD dos animais em SP. O aumento do consumo em kg de MS dia^{-1} do 1º para o 3º ciclo esta relacionado ao crescimento dos animais.

A condição ambiental também interfere no consumo. Andrade et al. (2007) citam que o aumento da temperatura ambiental pode reduzir o consumo voluntário de alimento por ovinos. Este mesmo autor reporta CMS dia^{-1} de 583 g em ambiente a sol pleno e 494 g em ambiente sombreado naturalmente, para ovinos Santa Inês. Como em seu estudo o sombreamento melhorou as condições ambientais é possível que o menor consumo neste ambiente estaja relacionado a piores condições do pasto, estando de acordo com o presente ensaio.

Hawke (1991), também observou que a ingestão de MS por ovinos em SSP pode ser reduzida por fatores como a densidade do dossel, massa do bocado e a

seleção no pastoreio, fatores que foram influenciados negativamente neste estudo, no SSP. Este autor ainda reporta que o consumo de residuos do bosque, que possuem menor digestibilidade, pode reduzir o consumo de forragem e que os resíduos das árvores podem reduzir a área útil para pastoreio.

O consumo de MS de forragem, obtido pelo método direto de pesagem dos animais e tempo de pastejo, resultou em valores estimados dentro das médias esperadas e citadas na literatura, o que releva a utilidade da metodologia empregada. Macoon et al. (2003) comparou o consumo de forragem a pasto por três métodos (diretos e indiretos), a saber: quantificação da forragem ingerida, inferência de desempenho animal, pelos requerimentos de energia para mantença e produção fecal usando marcador óxido de cromo. Eles observaram que o consumo determinado pela forragem (8,7 kg de MS dia-¹) foi mais correlacionado com o método de desempenho animal (8,4 kg de MS dia-¹) e menos correlacionao com o método de marcador externo (11,0 kg kg de MS dia-¹), uma diferena de 21,8%. Contudo, concluíram que o método de ingestão de forragem podem ser uma alternativa útil para determinar o consumo de forragem.

Tabela 5. Consumo voluntário de MS de forragem, expresso em kg dia-¹, por ovinos apascentados em pastagem convencional de capim Mombaça a sol pleno (SP) e em sistema Silvipastoril com 30% de sombreamento (SSP 30).

Ciclos	Sol Pleno		SSP 30		Média Ciclo
	M	F	M	F	
1º	0,51 Ca	0,62 Ca	0,45 Cb	0,45 Cb	0,52 C
2º	0,65 Ba	0,65 Ba	0,61 Ba	0,62 Ba	0,66 B
3º	0,73 Aa	0,83 Aa	0,77 Aa	0,71 Aa	0,76 A
Média Sexo	0,66	0,70	0,61	0,61	
Média Tratamento	0,68 a		0,61 b		
Média Geral	0,64			CV	15,63

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes nas linhas diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Médias seguidas de letras maiúsculas diferentes nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 6. Consumo voluntário de MS de forragem, expresso em porcentagem de peso vivo (%PV), por ovinos apascentados em pastagem convencional de capim Mombaça a sol pleno (SP) e em sistema Silvipastoril com 30% de sombreamento (SSP 30).

Ciclos	Sol Pleno		SSP 30		Média Ciclo
	M	F	M	F	
1º	2,40 Ba	2,63 Ba	2,10 Bb	2,24 Bb	2,34
2º	3,20 Aa	2,60 Aa	2,66 Ab	2,76 Ab	2,82
3º	3,03 Aa	2,99 Aa	3,02 Ab	2,83 Ab	2,97
Média Sexo	2,90	2,74	2,59	2,61	
Média Tratamento	2,82 a		2,60 b		
Média Geral	2,71			CV 15,5	

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes nas linhas diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Médias seguidas de letras maiúsculas diferentes nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

A conversão alimentar (CA) nos animais mantidos em SP foi melhor que a CA nos animais mantidos em SSP 30 (Tabela 7). Em SP foram necessários, em média, o consumo de 11.42 kg de MS para produção de 1 kg PV, enquanto que em SSP 30 foi necessário o consumo de 32,31 kg de MS para a produção de 1 kg de PV. Não foi observado efeito do sexo sobre a CA dentro de cada sistema. Ao longo dos ciclos foi verificado que a melhor CA ocorreu no 2º ciclo. Já a pior CA ocorreu no 3º ciclo. Ainda foi verificada interação ente os sistemas e os ciclos, onde se constatou que, apenas no 2º ciclo, a CA foi semelhante entre os sistemas.

A pior CA no sistema SSP 30 esta relacionada ao baixo desempenho animal nesta área, haja vista que neste sistema houve menor GMD (Tabela 4) embora a forragem disponível apresentasse melhor valor nutricional (Tabela 3). Este menor GMD em SSP 30 pode estar relacionado principalmente as piores condições ambientais (maior temperatura, maior umidade e menor renovação de ar – Tabela 2) e ao aumento da procura por alimento, devido a menor densidade de forragem (Tabela 3) que possivelmente elevaram o gasto energético para a mantença dos animais, sendo que a melhoria do valor nutritivo da dieta não foi suficiente para melhorar o desempenho.

Tabela 7. Conversão Alimentar (kg de MS/kg de PV) de ovinos apascentados em pastagem convencional de capim Mombaça a sol pleno (SP) e em sistema Silvipastoril com 30% de sombreamento (SSP 30). Araguaína – TO (2012).

Ciclos	Sol Pleno		SSP 30		Média Ciclo
	M	F	M	F	
1º	10,20 Ab	11,54 Ab	16,69 Aa	23,07 Aa	18,33
2º	8,42 Ba	8,09 Ba	9,22 Ba	10,29 Ba	9,00
3º	14,52 Ab	15,92 Ab	52,08 Aa	70,50 Aa	38,26
Média Sexo	10,99	11,85	25,99	38,62	
Média Tratamento	11,42 b		32,31 a		
Média Geral	21,86			CV	14,54

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes nas linhas diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Médias seguidas de letras maiúsculas diferentes nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Os melhores valores de CA no 2º ciclo foram o resultado do maior GMD neste ciclo. Este melhor desempenho esta associado à melhoria das condições ambientais, influenciadas pela menor precipitação (Tabela 1). A similaridade no desempenho animal para este atributo (Tabelas 4 e 7) no período de veranico (2º ciclo) indica que a umidade seja um dos maiores problema para ovinos em sistema silvipastoris, já que a redução da precipitação faz com que o desempenho dos animais neste ambiente seja mais parecido com o desempenho de animais em SP.

Os valores médios gerais de CA em SSP 30 foram influenciados principalmente pelo 3º ciclo, onde houve reduzido ganho de peso (Tabela 4). Esta piora drástica da CA em SSP 30 no 3º ciclo indica que os animais mantiveram o consumo, mas que o GMD foi muito reduzido. Este fato pode estar relacionado a elevada precipitação neste ciclo (Tabela 1) que provocou vários pontos de alagamento dentro do pasto, forçando os animais a intensificarem o pastejo em algumas zonas do pasto, e possivelmente a ingerirem alimento de pior qualidade. Hawke (1991) confirma que pontos de alagamento dentro de SSP prejudicam o pastoreio. Já Andrade et al. (2007) comparando a CA de ovinos apascentados em SSP e SP não observaram diferenças significativas, pois os animais em SSP consumiram menos forragem e ganharam menos peso, fato que elucida a condição de que no presente estudo, a pior CA em SSP 30, é resultante do fato dos animais consumirem forragem mas não ganharem peso.

5.3.5 Comportamento em pastejo

O número de estações alimentares em 10 minutos (EA-10) em SP foi inferior ao número de EA-10 em SSP 30 (Tabela 8). No SP os animais fizeram em média 13,45 EA-10 enquanto que em SSP 30 este número foi de 17,10 EA-10. Não houve efeito do sexo sobre o numero de EA-10 dentro dos sistemas, mas foi observado que no período da tarde o número de EA-10 (19,15) foi superior ao número de EA-10 (13,45) no período da manhã.

O maior número de EA-10 dos animais em SSP 30 revela a maior necessidade de troca de zonas de pastejo. Isto foi provocado pela baixa densidade de forragem, que obrigava o animal a mudar de local em função de sua seletividade e da baixa disponibilidade de lâminas foliares (Tabela 3). Já o maior número de mudanças de estações alimentares, observado para duas áreas, no período da tarde, pode demonstrar um esforço por parte dos animais em acelerar o processo de colheita de forragem para buscar abrigo e minimizar o desconforto térmico. De modo geral os maiores deslocamento em SSP 30 ainda podem ocorrer devido a heterogeneidade do pasto, conforme já mencionado.

Tabela 8. Processo de deslocamento em número de estações alimentares, durante 10 minutos, de ovinos apascentados em pastagem convencional de capim Mombaça a sol pleno (SP) e em sistema Silvipastoril com 30% de sombreamento (SSP 30).

Períodos	Sol Pleno		SSP 30		Média Período
	M	F	M	F	
Manhã	10,4 Bb	12,2 Bb	13,6 Ba	17,6 Ba	13,45
Tarde	16,6 Ab	15,4 Ab	20,6 Aa	24 Aa	19,15
Média Sexo	13,5	13,8	17,1	20,8	
Média Tratamento	13,45 b		17,10 a		
Média Geral	15,27			CV	27,35

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes nas linhas diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Médias seguidas de letras maiúsculas diferentes nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

Gonçalves et al. (2009) também observaram que em pastagem com menor disponibilidade de forragem havia aumento no número de EA realizados por cordeiros. Eles reportam que o animal, ao reconhecer um local com maior

densidade de forragem e maior potencial para bocados, permanece nele, colhendo apenas com movimento da cabeça e da mandíbula. Isto foi observado neste estudo na área SP. Ainda, segundo Prache e Peyraud (2001), quando a pastagem oferece forragem em quantidade e densidade adequada ocorre o desestímulo à troca de EA, que somente ocorre quando há diminuição na massa de forragem e/ou percepção de melhores oportunidades de consumo em outros locais do pasto.

O maior número de EA-10 na área SSP 30, em relação a SP, fez com que o tempo por estação alimentar em SSP 30 fosse reduzido. Em SP foi observado que os animais permaneciam, em média, 47 segundos numa mesma EA, enquanto que em SSP 30 o tempo médio por EA foi de apenas 35 segundos. Ainda foi observado que o tempo por EA no período da tarde foi inferior ao tempo por EA no período da manhã (Tabela 9). Gonçalves et al. (2009) trabalhando em diferentes ofertas de forragem observaram que ovinos em condições de maior disponibilidade de LF, e consequentemente, maior densidade de forragem, realizam maior quantidade de bocados em uma mesma EA, e, que devido estes bocados possuírem elevada massa de forragem necessitam de mais tempo para a mastigação, elevando o tempo total por EA.

Tabela 9. Processo de deslocamento, expresso em tempo por estação alimentar, em porcentagem do minuto, de ovinos apascentados em pastagem convencional de capim Mombaça a sol pleno (SP) e em sistema Silvipastoril com 30% de sombreamento (SSP 30).

Período	Sol Pleno		SSP 30		Média Período
	M	F	M	F	
Manhã	1,02 A	0,86 A	0,71 A	0,57 A	0,81
Tarde	0,61 B	0,65 B	0,53 B	0,46 B	0,57
Média Sexo	0,81	0,75	0,67	0,52	
Média Tratamento	0,78 a		0,59 b		
Média Geral	0,68			CV	27,57

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes nas linhas diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Médias seguidas de letras maiúsculas diferentes nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

Estes resultados revelam que em uma EA no SSP 30 a forragem eleita para consumo era rapidamente consumida, forçando o animal a procurar nova zona de

pastejo, enquanto que em SP havia mais forragem potencialmente aceitável em uma única EA. As diferenças na disponibilidade de LF selecionáveis foram afetadas diretamente pela disponibilidade de LF total e pela densidade de forragem (Tabela 3).

O número de passos (NPs) entre as EA na área SSP 30 foi superior ao NPs entre as EA na área SP (Tabela 10). Em média foram dados 7,87 passos entre as EA em SSP 30 e apenas 5,82 passos entre as EA em SP. Estes resultados revelam que a busca por forragem no SSP 30 era mais intensa, e que havia maior dificuldade do animal em eleger uma estação alimentar satisfatória, logo ele andava mais até encontrar nova zona de pastejo. No SP, a maior disponibilidade de LF e a maior densidade de forragem, permitiam que o animal encontrasse outra zona de pastejo mais rapidamente, sendo menor a necessidade de deslocamento. No período da tarde foram dados menos passos em ralação o turno da manhã, haja vista que os animais fizeram maior número de EA, e entre elas percorriam menores distâncias. Isto foi observado nos dois sistemas. Ainda, isto pode ser o resultado do maior desconforto térmico no período da tarde, onde os animais tentavam minimizar suas atividades de pastoreio.

Tabela 10. Processo de deslocamento em número de passos entre estações alimentares, de ovinos apascentados em pastagem convencional de capim Mombaça a sol pleno (SP) e em sistema Silvipastoril com 30% de sombreamento (SSP 30).

Período	Sol Pleno		SSP 30		Média Período
	M	F	M	F	
Manhã	5,10 Ab	6,17 Ab	10,26 Aa	7,37 Aa	7,90
Tarde	4,52 Bb	4,70 Bb	7,33 Ba	6,55 Ba	5,70
Média Sexo	4,81	6,84	8,79	6,96	
Média Tratamento	5,82 b		7,87 a		
Média Geral	6,84			CV	25,24

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes nas linhas diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Médias seguidas de letras maiúsculas diferentes nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

Os estudos de Gonçalves et al. (2009) com ovinos em diferentes ofertas de forragem revelaram que sob as maiores ofertas há redução do número de passos entre as estações. Já em menores ofertas de forragem os animais deslocam-se

continua e rapidamente, situação também observada neste ensaio. Hawke (1991) também verificou que a redução da disponibilidade de forragem em SSPs faz com que ovinos aumentem suas atividades de deslocamento no pastoreio e que os resíduos do bosque sobre o pasto promovem maior necessidade de procura de alimento pelos animais. Já Sharrow et al. (1996) ressaltaram que a forragem produzida em SSP com árvores em grid pode ser menos consumida que a forragem produzia em SP, possivelmente devido à dificuldades no pastoreio em função da menor oferta de forragem.

O número de passos dados em 10 minutos (NPs-10) na área SSP 30 foi superior ao NPs-10 na área SP (Tabela 11). Novamente isto reflete a maior necessidade de locomoção dos animais em SSP 30 em busca de forragem, já que nesta área houve uma menor densidade de forragem e menor número de perfilhos (Tabela 3), o que tornou a busca por alimento mais intensa. Este resultado esta de acordo com Gonçalves et al. (2009) e Belesky et al (2011) que afirmaram que o padrão de deslocamento de ovinos em pastejo é influenciado pela condição do pasto, onde menores ofertas faz com que os animais percorram maiores distâncias.

Tabela 11. Processo de deslocamento em número passos dados em 10 minutos, de ovinos apascentados em pastagem convencional de capim Mombaça a sol pleno (SP) e em sistema Silvipastoril com 30% de sombreamento (SSP 30).

Período	Sol Pleno		SSP 30		Média Período
	M	F	M	F	
Manhã	70,2 Ab	93,6Ab	123,4 Aa	142,4 Aa	107 a
Tarde	72,0 Ab	70,2 Ab	136,0 Aa	148,8Aa	106 a
Média Sexo	71,1	81,9	129,7	145,6	
Média Tratamento	76,5 b		137,6 a		
Média Geral	107,05			CV	36,33

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes nas linhas diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Médias seguidas de letras maiúsculas diferentes nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

De modo geral, a maior necessidade de deslocamento dos animais na área SSP 30, em busca de alimento, embora a disponibilidade tenha sido semelhante entre as áreas, fez com que o desempenho neste sistema fosse reduzido em relação área SP. No SSP 30, possivelmente, maior parte da energia obtida do pasto tenha sido

utilizada na mantença, o que reduziu a disponibilidade de energia líquida para a produção.

5.3.6 Produtividades dos sistemas

A produtividade na área SP foi maior que a produtividade da área SSP 30, nos três ciclos avaliados (Tabela 12). A taxa de lotação média no SP foi de 1,95 UA ha^{-1}, já em SSP foi de apenas 0,99 UA ha^{-1}. O número médio de cordeiros apascentados no SP foi de 30,89. No SSP 30 este número foi de 14,28. O ganho médio ha^{-1} dia^{-1}, em peso vivo de cordeiros, foi de 1,44 kg em SP e de 0,368 kg no SSP 30. A capacidade de suporte foi, em média, 868 kg de PV em SP e 450 kg de PV em SSP 30.

Tabela 12. Produtividade de ovinos apascentados em pastagem convencional de capim Mombaça a sol pleno (SP) e em sistema Silvipastoril com 30% de sombreamento (SSP 30). Araguaína – TO (2012).

	Tratamentos	Sol pleno	Sistema Silvipastoril
Ciclo	Parâmetros		
1º	Taxa de lotação (UA ha^{-1})	1,95	0,96
	Cordeiros ha^{-1}	32,70	14,28
	Ganho (kg) ha^{-1} dia^{-1}	1,20	0,210
	Ganho (kg) ha^{-1} período^{-1}	33,63	5,92
	Suporte (kg ha^{-1} período^{-1})	880	432
2º	Taxa de lotação (UA ha^{-1})	1,96	1,03
	Cordeiros ha^{-1}	30,90	14,28
	Ganho (kg) ha^{-1} dia^{-1}	1,45	0,515
	Ganho (kg) ha^{-1} período^{-1}	40,63	14,42
	Suporte (kg ha^{-1} período^{-1})	840,54	464,74
3º	Taxa de lotação (UA ha^{-1})	1,96	1,00
	Cordeiros ha^{-1}	29,09	14,28
	Ganho (kg) ha^{-1} dia^{-1}	1,36	0,171
	Ganho (kg) ha^{-1} período^{-1}	38,18	4,81
	Suporte (kg ha^{-1} período^{-1})	886,18	454,01
	Médias		
	Taxa de lotação (UA ha^{-1})	1,95	0,99
	Cordeiros ha^{-1}	30,08	14,28
	Ganho (kg) ha^{-1} dia^{-1}	1,33	0,298
	Ganho (kg) ha^{-1} período^{-1}	37,48	8,38
	Suporte (kg ha^{-1} período^{-1})	868,90	450,25

Período: ciclo de 28 dias.

A maior produtividade no SP está relacionada ao fato da maior produção de forragem nesta área (maior taxa de acúmulo de LF - Tabela 3), que manteve maior taxa de lotação durante todo o ensaio, bem como o maior ganho de peso dos animais mantidos nesta área. Apesar da menor produtividade do SSP 30 em relação SP, deve-se ponderar que o SSP 30 era uma área ociosa, que passou a produzir, de forma mais sustentável, aproximadamente 50% do que se produziu no sistema convencional.

Bird et al. (2010) ao avaliaram a resposta produtiva de ovinos inseridos em SSP de *Pinus radiata* com diferentes populações arbóreas: 60, 200 e 815 árvores ha^{-1} e em sistema sem árvores, também observaram que a produtividade diminuia linearmente com o aumento do número de árvores, principalmente em função do baixo crescimento da forragem, e que era necessário retirar exporadicamente os animais da áreas sob SSP. Eles observaram ganhos ha^{-1} dia^{-1} da ordem de 0,98, 0,63, 0,68 e 0,43 g nos sistemas 0, 60, 200 e 815 árvores ha^{-1}, valores parecidos aos encontrados em SSP 30 deste estudo.

5.4 CONCLUSÕES

A atividade pecuária ovina desenvolvida em sistema silvipastoril alternativo, com raleamento aleatório de floresta secundária no ecótono Cerrado:Amazônico é possível, mas há redução do desempenho animal em relação o sistema tradicional de exploração.

O ambiente neste tipo de sistema silvipastoril pode ser quente e úmido, e a densidade de forragem, fazendo com que os animais gastem mais energia para manter a homeostase e procurar alimento.

A produtividade do sistema silvipastoril é inferior ao sistema convencional. O acúmulo de forragem e o perfilhamento no sistema integrado são reduzidos e há diminuição da capacidade de suporte.

Embora ocorra redução da produtividade no sistema agroflorestal, este sistema de exploração possibilita a produção de aproximadamente metade do que é produzido no sistema convencional.

5.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDRINO, E.; GOMIDE, J.A.; GOMIDE, C.A.M. Crescimento e desenvolvimento do dossel de *Panicum maximum* cv. Mombaça. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, n.6, p.2164-2173, 2005.

ALLDEN, W. G.; WHITTAKER, M. C. D. The determinants of herbage intake by grazing sheep: The interrelationship of factors influencing herbage intake and availability. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.21, n.5, p.755-766, 1970.

ANDERSON, G.W.; MOORE, R.W. Productivity in the first seven years of *Pinus radiate* annual pasture agroforest in Western Australia. **Australian Jounal Experimental Agriculture**. v.27, n.6, p. 231– 238, 1987.

ANDRADE, S.I.; SOUZA, B.B..; PEREIRA FILHO, J.M.; SILVA, A.M.A. parâmetros fisiológicos e desempenho de ovinos santa inês submetidos a diferentes tipos de sombreamento e a suplementação em pastejo. **Ciência agrotecnologica de Lavras**, v. 31, n. 2, p.540-547, 2007.

BARRO, R.S.; SAIBRO, J.C.; MEDEIROS, R.B.; SILVA, J.L.S.; VARELLA, A.C. Rendimento de forragem e valor nutritivo de gramíneas anuais de estação fria submetidas a sombreamento por *Pinus elliottii* e ao sol pleno. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.37, n.10, p.1721-1727, 2008.

BELESKY D.P.; CHATTERTON N.J.; NEEL J.P.S. Dactylis glomerata growing along a light gradient in the central Appalachian region of the eastern USA: III. Nonstructural carbohydrates and nutritive value. **Agroforestry Systems**, v.67, n.1, p. 51-61, 2006.

BELESKY, D,P,; BERNER, D.M.; RUCKLE, J.M. Tiller production in cocksfoot (*Dactylis glomerata*) and tall fescue (*Festuca arundinacea*) growing along a linght gradient. **Grass and Forage Science,** Oxford, v.66, n.3, p. 1-11, 2011.

BIRD. P.R.; KELLAS, J.D.; JACKSON, T.T.; KEARNEY, G.A. Pinus radiata and sheep production in silvopastoral systems at Carngham, Victoria, Australia. **Agroforest System** v. 78, n.3, p. 203–216, 2010.

BUERGLER, A.L.; FIKE, J.H.; BURGER, J.A. Forage nutritive value in an emulated silvopasture. **Agronomy Journal**, v.98, n.5, p.1265-1273, 2006.

CEPEM – **Centro de Pesquisas Eco-naturais**: Disponível em: http://www.cepen.com.br/arv_nat_glossario_ho.htm. Acesso em: 25/10/2010.

COLLIER, L.S.; LARA, M.A.S.; VILELA, L. Recomendação de adubação e calagem a partir do manejo da forrageira de solos cultivados com pastagens no cerrado. In: SANTOS, A.C. (Ed.). **Do Campus para o Campo. Manejo de solos sob pastagens tropicais**. Araguaína, TO, 2008, cap.1, p.16.

COSSENS, G.G. **Grazed pasture production under Pinus radiate**. In: OTAGO. M.A.F.; WELLINGTON, N.Z. Technical Workshop on Agroforestry, (1984) pp 33-38.

DEINUM, B.; SULASTRI, R.D.; ZEINAB, M.H.J.; MAASSEN, A. Effects of light intensity on growth, anatomy and forage quality of two tropical grasses (*Brachiaria brizantha* and *Panicum maximum* cv. *trichoglume*). **Netherlands Journal of Agriculture Science**, v.44, n.2, p.111-124, 1996.

DEVKOTA N.R.; KEMP P.D.; VALENTINE I.; HODGSON J. Performance of perennial ryegrass and cocksfoot cultivars under tree shade. Proceedings of the Agronomy. **Society of New Zealand**. v.28, n.1, p.129-135, 1998.

DEVKOTA, N.R.; KEMP, P.D.; HODGSON, J.; VALENTINE, I.; JAYA, I.K.D. Relationship between tree canopy height and the production of pasture species in a silvopastoral system based on alder trees. **Agroforest System** v.76, n.2, p. 363–374, 2009

DU PREEZ, J. D., GIESECKE, W. H., HATTINGH, P. J., EISENBERG, B. E. Heat stress in dairy cattle and other livestock under Southern African

conditions. II. Identification of areas of potential heat stress during summer by means of observed true and predicted temperature-humidity index values. **Onderstepoort Jounal Vet. Reseachar**, v. 57, n.1, p. 183-187, 1990b.

.

EMBRAPA. Centro nacional de pesquisa em solo. **Sistemas brasileiro de classificação de solos**, Rio de Janeiro, RJ, 2. ed. 2006. 306 p.

FELDHAKE C.M.; NEEL J.P.S.; BELESKY D.P. Establishment and production from thinned maturedeciduous-forest silvopastures in Appalachia. **Agroforestry Systems**, v.79, n.1, p.31–37, 2010.

FRANCO, A.M.S.; DILLENBURGER, L.R. Ajuste morfológico e fisiológico em plantas jovens de *Araucária angustifólia kuntze* (Bertol.) em resposta ao sombreamento. **Hoehnea**, v.34, n.2, p.135-144, 2007.

GOBBI, K.F.; GARCÍA, R.; GARCEZ NETO, A.F.; PEREIRA, O.G.; ROCHA, G.C. Valor nutritivo do capim-braquiária e do amendoim forrageiro submetidos ao sombreamento. **Archivos de Zootecnia,** v.59, n.227, p.379-390, 2010.

GONÇALVES, E.D.; CARVALHO, P.C.F.; DEVINCENZI, T.; LOPES, M.L.T.; FREITAS, F.K.; JACQUES, A.V.A. Relações planta-animal em ambiente pastoril heterogêneo: padrões de deslocamento e uso de estações alimentares. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.38, n.11, p.2121-2126, 2009**.**

HAHN, G. L. Manegement and housing of farm animals in hot environments. In: YOUSEF, M. K. (Ed.). **Stress physiology in livestock**. **Ungulates**. Boca Raton: CRC Press Inc. 1985. v.2, p.151-174.

HAWKE, M.F. Pasture production and animal performance under pine agroforestry in New Zealand. **Forage Ecology Management**. v. 45, n.4, p.109–118, 1991.

HAWKE, M.F.; RATTRAY, P.V.; PERCIVAL, N.S. Liveweight changes of sheep grazing a range of herbage allowances under *Pinus radiata* agroforestry regimes. **Agroforest System**. v.23, n.1, p.11–21, 1993.

HODGSON, J. **Grazing management: science into practice**. Ed. Longman Scientific and Technical. 1990. 203p.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. . www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/ppm/.../tab17.pdf. Acesso: 10/2013.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espacias. **Estimativa das emissões de co2 por desmatamento na amazônia brasileira. relatório técnico sintético**. 2009. Disponível em: <http://www.inpe.br/>. Acesso: Out. 2013.

ITALIANO, E.C.; ARAÚJO NETO, R.B. Desempenho Produtivo de Ovinos em Pastagem Cultivada. Circular técnica 42, MAPA. Teresina – PI. 2006.

JACKSON, R.A., TOWNSEND, K.G. HAWKE, M.F. The availability of ovine infectivet richostrongyle larvae on forested paddocks. **New Zealand Veterinary Jounal**. v. 34, n.12, p.205-209, 1986.

JAMIESON, W. S.; HODGSON, J. The effect of variation in sward characteristics upon the ingestive behaviour and herbage intake of calves and lambs under a continuos stocking management. **Grass Forage Science**, v.34, n.4, p.273-82, 1979.

KELLY, C. F.; BOND, T. E. Bioclimatic factors and their measurements. In: NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. **A guide to environmental research on animals**. Washington, D.C.: National Academy of Sciences, 1971.

KEPHART, K.D.; BUXTON, D.R. Forage quality responses of C3 and C4 perennial grasses to shade. **Crop Science**, v.33, n.4, p.831- 837, 1993.

KNAKE, E.L. Effect of shade on giant foxtail. **Weed Science**, n.20, v.6, p.588-592, 1972.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag. Justus Perthes. 1948.

LEMAIRE, G.; CHARTIER, M. **Relationships between growth dynamics and nitrogen uptake for individual sorghum plants growing at different plant**

densities. In: LEMAIRE, G. (Ed.) Diagnosis of the nitrogen status in crops. Paris: INRA - Station décophysiologie des Plantes Fourragères, 1992. p.3-43.

MACOON, B., SOLLENBERGER, L.E., MOORE, J.E., STAPLES, C.R., FIKE, J.H., PORTIER, K.M. Comparison of three techniques for estimating the forage intake of lactating dairy cows on pasture. **Journal of Animal Science**. v. 81, n.9, p. 2357-2366, 2003.

McDOWELL, R. E. **Improvement of livestock production in war climates**. San Francisco: W.H. Freman and Company, 1972.

MEDINILLA-SALINAS, L.; VARGAS-MENDOZA,M.C.; LO´PEZ-ORTIZ, S.; VILA-RESENDIZ, C.A.; CAMPBELL, W.B.; GUTIERREZ-CASTORENA, M.C. Growth, productivity and quality of Megathyrsus maximus under cover from Gliricidia sepium. **Agroforest Systems**. v. 87, n.4, p. 891–899, 2013.

MINSON, D.J. **Forage in ruminant nutrition**. San Diego: Academic Press. 1990.483p.

OLIVEIRA, F.M.M.; DANTAS, R.T.; FURTADO, D.A.; NASCIMENTO, J.W.B.; MEDEIROS, A.N**.** Parâmetros de conforto térmico e fisiológico de ovinos Santa Inês, sob diferentes sistemas de acondicionamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.9, n.4, p.631-635, 2005.

OLIVEIRA, F.A.; TURCO, S.H.N.; ARAÚJO, G.G.L.; CLEMENTE, C.A.A.; VOLTOLINI, T.V.; GARRIDO, M.S. Comportamento de ovinos da raça Santa Inês em ambientes com e sem disponibilidade de sombra. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.3, p.346–351, 2013.

PACIULLO, D.S.C.; CASTRO, C.R.T.; GOMIDE, C.A.M.; MAURÍCIO, R.M.; PIRES, M.F.A.; MÜLLER, M.D.; XAVIER, D.F. Performance of dairy heifers in a silvopastoral system. **Livestock Science**, v.10, n.5, p.0-12, 2011.

PACIULLO, DSC.; LOPES, F.C.F.; MALAQUIAS JUNIOR, J.D.; VIANA FILHO, A.; RODRIGUEZ, N.M. MORENZ, M.J.F.; AROEIRA, L.J.M. Características do pasto

e desempenho de novilhas em sistema silvipastoril e pastagem de braquiária em monocultivo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** v.44, n.11, p.1528-1535, 2009.

PENNING, P.D.; HOOPER, G.E. An evaluation of the use of short-term weight changes in grazing sheep for estimating herbage intake. **Grass Forage Science**., v.40, n.1, p.79-84, 1985

PEREIRA, E.B.; MARTINS, F.R.; ABREU, S.L.; RÜTHER, R. **Atlas Brasileiro de Energia Solar.**1ª Ed**.** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT. São José dos Campos-SP. 2006.

POLI, C.H.E.C.; MONTEIRO, A.L.G.; BARROS, C.S.; MORAES, A.; FERNANDES, M.A.M.; PIAZZETTA, H.V.L. Produção de ovinos de corte em quatro sistemas de produção. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, n.4, p.666-673, 2008.

PRACHE, S.; PEYRAUD, J. Foraging: behaviour and intake in temperate cultivated grassland. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 19., 2001, São Pedro. **Proceedings...** São Pedro, 2001. p.309-319.

RAI, A.K.; RAI, P. Performance of lambs and kids on silvipastoral system and effects of grazing on constituent vegetation. **Range Management and Agroforestry,** v.31 n.2 , p. 102-108, 2010.

RAI, P., SOLANKI, K.R., DEB ROY, R., SINGH, R. Performance of lambs and kids on silvipastoral system and effects of grazing on constituent vegetation. **Indian Journal of Animal Sciences**. v.68, n.9, p. 973-975, 1998.

RAO, G.R., RAMANA, D.B.V., PRASAD, J.V.N.S., VENKATESWARLU, B. Performance of Deccani ram lambs grazed on stockpiled forage from established silvipasture. **Range Management and Agroforestry**. v.34, n.1, p. 93-97, 2013.

SARTOR, L.R.; SOARES, A.B.; ADAMI, P.F.; FONSECA, L.; MIGLIORINI, F. Características de solo sob sistema silvipastoril com diferentes densidades arbóreas. **Anais...** I Seminário Sistemas de Produção Agropecuária - 3 a 5 de

outubro de 2007 Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Dois Vizinhos (UTFPR, DV).

SHARROW, S.H.; CARLSON, H.; EMMINGHAM, W.H.; LAVENDER, D. Productivity of two Douglas fir/subclover/**sheep** agroforests compared to pasture and forest monocultures. **Agroforestry Systems**. v.34, n.3, p.305-313, 1996.

SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. **Análise de Alimentos** (métodos químicos e biológicos) 2 ed. Viçosa: UFV. Imp. Univ. 2002.165 p.

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

TAIZER, L.; ZEIGER, E. Fotossíntese: as reações luminosas In:_____. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed., 2004. cap. 8, p.139-169.

VAN SOEST, P.J.; ROBERTSON, J.B.; LEWIS, B.A. Symposium: carbohydrate metodology, metabolism, and nutritional implications in dairy cattle. 1991. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v.74, n.10, p.3583-3597, 1991.

VODOUHE, G. F.; COULIBALY, O.; BIAOU, G.; SINSIN, B. Traditional agroforestry systems and biodiversity conservation in Benin (West Africa). **Agroforestal Syst**al. v. 82, n.1, p. 1–13, 2011.

VOLENEC, J.J.; NELSON, C.J. Environmental aspects of forage management. In: BARNES, R.F.; NELSON, C.J.; COLLINS, M. (Eds.) **Forages: an introduction to grassland agriculture**. 6º ed. Ames: Blackwell, 2003. p.99-124.

WONG, C.C.; WILSON, J.R. Effects of shading on the growth and nitrogen content of green panic and siratro in pure and mixed swards defoliated at two frequencies. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.31, n.3, p.269-285, 1980.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos referentes a implantação de sistemas silvipastoris com a associação da gramínea capim mombaça e a espécies arbóreas babaçu confirmam efeitos já comumente descritos na literatura, como a redução da produção de forragem e suporte animal, redução do perfilhamento, aumentos do teores de proteína bruta e aumento do alongamento dos tecidos. Contudo, a forma de avaliação empregada, considerando a interação entre diferentes atributos destes sistemas permitiu identificar quais das características do solo e do pasto, por exemplo, são mais afetadas pela presença do componente arbóreo, como: as características agronômicas do capim são mais afetadas que as características morfogênicas; a matéria orgânica do solo é o principal atributo influenciado pelas árvores, com reflexos nas propriedades químicas, como CTC, e físicas, como a resistência a penetração. Ainda, a ciclagem de nutrientes nos sistemas integrados é superior a verificada no sistema sob monocultivo da forrageira e até mesmo da floresta.

O conhecimento de qual variável, dentro de um conjunto de variáveis, é principalmente afetada por determinado tipo de manejo e/ou uso, abre caminho para estudos mais específicos e direcionados. Por exemplo, observou-se neste estudo, que o perfilhamento, dentre diversas características agronômicas, morfogênicas e bromatológicas da gramínea é sensivelmente afetado pelo sombreamento. Isto pode direcionar estudos específicos para tais sistemas, voltados ao estímulo do perfilhamento, como adubação e/ou colheita de forragem. Ainda, pode-se constatar que o período de descanso para a gramínea sombreada possivelmente não deve seguir a recomendação literária, tomando a altura como parâmetro para colheita da forrageira.

De modo geral, o raleamento de florestas secundárias para compor sistemas integrados é possível, mas não se pode especular sob sua viabilidade, já que nada, nesse aspecto, foi levantado neste estudo, além das particularidades de cada sistema. É muito provável que o método de raleamento aleatório seja inviável para a reintrodução de áreas ociosas ao processo produtivo, o que não significa que sistemas silvipastoris com espécies arbóreas nativas não deve ser adotado, mas sim aprimorado, já que estes são sistemas tidos como mitigadores

dos efeitos do avanço da pecuária sob a floresta. Assim, a manutenção de parte da vegetação nativa ou a permissão de alguma revegetação natural em pastagens a sol pleno podem ser uma alternativa para a formação de sistema de integração floresta pasto a médio/longo prazo. Já áreas em avançado estágio de revegetação natural (florestas secundárias) poderiam se preservadas e incluídas nas reservas legais.

Um dos principais fatores que atestam os benefícios da presença do componente arbóreo sob a sustentabilidade dos sistemas pecuários, que pôde ser constatado neste estudo, foi que o abandono de áreas exploradas pela pecuária, e sua posterior reconstituição florestal, restauram as condições físico-químicas do solo em relação ao sistema de exploração tradicional adotado na região. Posteriormente, o reuso destas áreas para a mesma exploração pecuária, mantendo a maior parte do componente arbóreo tende a preservar as características recuperadas, mantendo o solo semelhante ao solo sob floresta, ao passo que a remoção das árvores altera negativamente o solo recuperado, tornando-o novamente similar ao solo sob monocultivo de pastagem.

Com relação ao desempenho dos animais no ambiente sombreado observaram-se respostas conflitantes as menções literárias, que reportam que tais sistemas oferecem sombra, conforto térmico e alimento de qualidade. Neste estudo foi observado piora das condições de conforto térmico, já os sistemas sombreados foram quente, sem ventilação e extremamente úmidos, comprometendo o desempenho animal. Tais condições são características de regiões com predominância de floresta amazônica (quente e úmida) que possivelmente poderiam ser amenizadas por maior intensidade de raleamento, o que favoreceria a produção de forragem, em função da melhora do ambiente luminoso, mas, penalizaria a manutenção das condições do solo e a ciclagem de nutrientes. Tal paradoxo deve ser foco de pesquisas futuras. A discrepância em relação a literatura pode estar no fato de que grande parte dos estudos com sistemas integrados são desenvolvidos em regiões quentes e secas, como no nordeste brasileiro, havendo, desta forma, a necessidade de se adaptar os sistemas integrados às condições de cada região.

Ensaios de sistemas silvipastoris com *n* tratamentos e *m* variáveis devem ser prioritariamente analisados com ferramentas geoestatísticas e/ou

multivariadas. Estas avaliações permitem conclusões mais acuradas, considerando todo um conjunto de dados e suas possíveis interações, além de determinar quais características medidas são mais importantes no estudo e são mais afetadas pelos tratamentos impostos. Isto permite uma visão holística de todo o sistema, ao passo que as análises univariadas, comumente empregadas nos estudos de campo, geram afirmações individuais para cada atributo, de forma isolada, sendo as conclusões dos estudos apresentadas de forma fragmentada.

Neste sentido, a avaliação conjunta dos dados da interface solo-planta e da ciclagem de nutrientes, permite a constatação de que níveis de sombreamento de 30 a 60% provocam modificações na forma de crescimento do pasto, de modo que quando comparadas com o crescimento a sol pleno, são práticamente semelhantes. Isto pode significar que as afirmações clássicas literárias quanto ao nível de sombreamento tolerado por gramíneas do gênero *Panico maximum*, em torno de 50%, podem estar superestimas, ou inferirem que esta é a tolerancia máxima para sobrevivência da gramínea e não para assegurar a produção de forragem semelhante ao sistema convencional a sol pleno. Neste estudo, as evidências apontam para o fato de que para se obter produção de forragem em sistemas de integração floresta pasto é preciso manter níveis de sombreamento inferiores a 30%

Emboras os sistemas silvipastoris sejam exaustivamente estudados e revisados nos meios acadêmicos, sendo mencionados como sustentáveis e ambientalmente corretos, muitos destes modelos de produção carecem de estudos mais elaborados, abrangentes e principalmente de avaliação a longo prazo. No presente ensaio buscou-se avaliar tais sistemas de forma integrada principalmente, mas pesquisas futuras devem considerar a viabilidade econômica e os efeitos alongo prazo.