



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO**

**PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL**

**Karen Mirella Souza Menezes**

**Impacto do sombreamento e do consórcio de gramínea e leguminosa sobre os atributos bioquímicos e a comunidade microbiana do solo.**

Petrolina – PE

2015



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL**

**Karen Mirella Souza Menezes**

**Impacto do sombreamento e do consórcio de gramínea e  
leguminosa sobre os atributos bioquímicos e a comunidade  
microbiana do solo.**

Trabalho apresentado à Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF, *Campus* de Ciências Agrárias, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciência Animal.

**Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Adriana Mayumi Yano-Melo**

**Coorientador: Prof. Dr. Mário Adriano Ávila Queiroz**

PETROLINA - PE

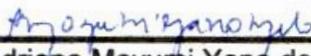
2015

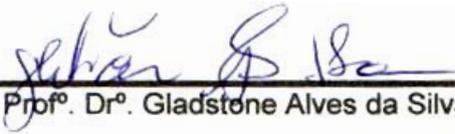
**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL**

**Karen Mirella Souza Menezes**

**Impacto do sombreamento e do consórcio de gramínea e  
leguminosa sobre os atributos bioquímicos e a comunidade  
microbiana do solo.**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciência Animal, pela Universidade Federal do Vale do São Francisco.

  
\_\_\_\_\_  
Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Adriana Mayumi Yano de Melo  
Orientadora – (Univasf)

  
\_\_\_\_\_  
Prof<sup>º</sup>. Dr<sup>º</sup>. Gladstone Alves da Silva  
Universidade Federal de Pernambuco  
(UFPE)

  
\_\_\_\_\_  
Prof<sup>º</sup>. Dr<sup>º</sup>. Claudio Mistura  
Universidade do Estado da Bahia (UNEB)

Petrolina, 29 de Abril 2015

M541i Menezes, Karen Mirella Souza  
Impacto do sombreamento e do consórcio de gramínea e leguminosa sobre os atributos bioquímicos e a comunidade microbiana do solo / Karen Mirella Souza Menezes. -- Petrolina, 2015.  
152f.: il. 29 cm.

Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) - Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Ciências Agrárias, Petrolina, 2015.

Orientadora: Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Adriana Mayumi Yano-Melo

1. Solo. 2. Comunidade Microbiana. 3. Pastagem. I. Título. II. Universidade Federal do Vale do São Francisco

CDD 631.4

*Dedico aos meus amados avós paternos e maternos, João José de Souza, Antônia Generosa da Conceição e Julia Raimunda Nunes (In memoriam). E em especial a minha mãe Josefa Menezes.*

**DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por esta presente em cada minuto da minha vida, dando-me força para nunca desistir dos meus objetivos, sem Ele nada disso seria possível.

A minha mãe, Josefa Menezes por todo carinho e compreensão, e pelo apoio continuo em todas as minhas escolhas e por jamais deixar de acreditar que eu seria capaz de concretizar este sonho.

Aos meus irmãos, Kelly, Kássio e Karol, pelo apoio e carinho em todos os momentos da minha vida.

À Profa. Adriana Mayumi Yano de Melo, pela orientação desde a minha iniciação científica, por todos os ensinamentos, incentivos, confiança e por sempre me incentivar a vibrar com os meus resultados, além de ser um espelho de profissionalismo, ética e amor pelo que faz, carregarei comigo todos os seus ensinamentos.

Ao Prof. Mário Adriano Ávila de Queiroz, pela coorientação e pelo convite para trabalhar na área experimento deste estudo.

Ao Prof. Wagner Félix, pelo grande apoio e disponibilidade nas análises de carboidratos.

À Dani Karla, pela colaboração na taxonomia de FMA e por contribuir nas análises estatísticas.

À Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (Facepe) pela concessão da bolsa de estudo.

À coordenação do PGCA, e a todos os professores da pós-graduação pelos ensinamentos.

À toda equipe do laboratório de microbiologia da Univasf, Angélica Ricarte, Aline Passos, Dani Karla, Daniela, Valdirene, Kathianne, Jorge Messias, Lílian, Matheus, Maria Eugênia e Inácio pelo companheirismo e bons momentos compartilhados.

Ao Alan Honorato e Ícaro Fernandes pelo apoio nos momentos de coleta.

Enfim, a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram com este trabalho.

## RESUMO GERAL

O sistema baseado no consórcio entre gramíneas e leguminosas tem sido uma das alternativas sugeridas para garantir a sustentabilidade das pastagens, porém poucos estudos enfatizam o impacto desta prática de manejo em diferentes níveis de sombreamento sobre a biota do solo. Desta forma, objetivou-se avaliar o impacto do sombreamento e do consórcio entre gramínea (*Cenchrus ciliaris* L.) e leguminosa (*Clitoria ternatea* L.) sobre a comunidade e atividade microbiana. O estudo foi conduzido em área experimental cultivada com capim buffel sob diferentes níveis de sombreamento, na qual foi introduzido o sistema de consórcio. Foram realizadas avaliações em cronossequência, AEC – antes do estabelecimento da leguminosa, 120, 165 e 210 dias de cultivo. Antes do estabelecimento da leguminosa, o sombreamento aumentou o carbono microbiano, porém reduziu a respiração edáfica, o que resultou em redução do quociente metabólico ( $qCO_2$ ). No geral, aos 120, 165 e 210 dias de cultivo da leguminosa, o tratamento consorciado e sombreado a partir de 39% propiciou aumento no carbono da biomassa microbiana (C-BM) e a  $\beta$ -glucosidase e redução do  $qCO_2$ , enquanto que em monocultivo este incremento foi alcançado com 55% de sombreamento. No entanto, o inverso ocorreu para a respiração do solo (RS), com maior liberação de  $CO_2$  observada nas áreas consorciadas e nos menores níveis de sombreamento (0, 26 e 39%) aos 120, 165 e 210 dias de cultivo, respectivamente. Maior atividade da urease ocorreu no consórcio e na área a pleno sol; enquanto que a fosfatase ácida só foi influenciada a partir dos 165 dias, com maior atividade nas áreas consorciadas. Efeito do sombreamento sobre a quantidade de carboidratos (total, redutor e não redutor) foi detectável a partir dos 165 dias, com redução em sua quantidade com o aumento dos níveis de sombreamento. Esta redução pode ter influenciado negativamente a colonização micorrízica (CM), visto que menores percentuais desta variável foram encontrados nos maiores níveis de sombreamento e houve correlação negativa entre carboidrato redutor (CR) e colonização micorrízica. Ao contrário, o aumento de sombreamento promoveu incremento no número de glomerosporos (NG), fato que pode ter relação com maior diversidade de FMA encontrado neste ambiente, favorecendo a esporulação em função do teor de umidade e temperaturas mais amenas sob clima semiárido. Ao longo do período de cultivo constata-se redução na diversidade de FMA e distinção das comunidades, sugerindo o estabelecimento e seleção das espécies com o manejo adotado. Conclui-se que a

introdução de *Clitoria ternatea* em pastagem de *Cenchrus ciliaris* promove aumento na atividade microbiana (C-BM, RS) e na atividade enzimática do solo ( $\beta$ -glucosidase, fosfatase ácida e urease) e reduz o  $qCO_2$ , indicando eficiência na comunidade microbiana sob estas condições no semiárido. Por outro lado, em condições de monocultivo a adoção de maiores níveis de sombreamento (55%) é necessária para que haja incremento no carbono microbiano do solo e  $qCO_2$ .

Palavra-Chave: comunidade microbiana, diversidade de FMA, consórcio, luminosidade

## ABSTRACT

The system based on the consortium between grasses and legumes has been one of the suggested alternatives to ensure the sustainability of pasture, but few studies emphasize the impact of this management practice at different levels of shading on soil biota. Thus, this study aimed to assess the impact of shading and the consortium between grass (*Cenchrus ciliaris* L.) and legumes (*Clitoria ternatea* L.) on the microbial activity and on the community of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF). The study was conducted in an experimental area cultivated with grass buffel under different levels of shading, where was introduced in the consortium system. Evaluations were carried out in a chronosequence, BEL - before the establishment of legumes, and 120, 165 and 210 days of cultivation. Before the establishment of the legume, the shading increased microbial carbon, but decreased soil respiration, resulting in reduced metabolic quotient ( $qCO_2$ ). Overall, after 120, 165 and 210 days of the legume cultivation, the treatment consorted and shadowed from 39% resulted in increased microbial biomass carbon (MBC) and  $\beta$ -glucosidase, and reduced  $qCO_2$ , whereas in monoculture this increase was achieved only with 55% of shade. However, the opposite was observed for soil respiration (RS), with greater release of  $CO_2$  observed in the consortium areas and in the smaller shading levels (0, 26 and 39%) at 120, 165 and 210 days of cultivation, respectively. Greater activity of urease occurred in the consortium and in the area in full sun; while the acid phosphatase was only influenced from 165 days, with greater activity in consortium areas. Effect of shading on the amount of carbohydrates (total, reducing and non-reducing) was detectable from 165 days, with a reduction in their quantity with increasing of shading levels. This reduction could have negatively influenced the mycorrhizal colonization (MC), since lowest percentages of this variable were found in the higher shading levels and there was a negative correlation between reducing carbohydrate (RC) and mycorrhizal colonization. Instead, the increase of shading promoted increase in the number of glomerospores (NG), which may be related to greater diversity of AMF found in this environment, favoring the sporulation due to mild humidity and temperature under semiarid climate. Throughout the growing period it was observed a reduction in the diversity of AMF and distinction of the communities, suggesting the establishment and selection of species with management adopted. It is concluded that the introduction of *Clitoria ternatea* in pasture of *Cenchrus ciliaris* promotes increase on the microbial activity (MBC) and enzyme activity in the soil

( $\beta$ -glucosidase, acid phosphatase and urease) and reduces  $q\text{CO}_2$ , indicating efficiency on the microbial community under these semiarid conditions. On the other hand, in monoculture conditions the adoption of higher levels of shading (55%) is necessary for there to be an increase in the soil microbial carbon and  $q\text{CO}_2$ .

Keywords: microbial community, AMF diversity, consortium, luminosity

## LISTA DE FIGURAS

### ARTIGO 1

- Figura 1.** Precipitação pluviométrica e temperatura mínima e máxima no período de setembro de 2013 a abril 2014, Petrolina-PE..... 59
- Figura 2.** Umidade do solo (%) (A) e temperatura do solo (°C) (B) na rizosfera de plantas de *Cenchrus ciliaris* L. consorciadas ou não com *Clitoria ternatea* L. em diferentes níveis de sombreamento e períodos de coleta..... 60
- Figura 3.** Análise de escalonamento multidimensional (NMS) antes do estabelecimento do consórcio correlacionado com atributos químicos e físicos do solo em áreas de pastagens de *Cenchrus ciliaris* L. Os valores apresentados entre parênteses correspondem ao percentual da variação explicada pelos eixos da ordenação..... 72
- Figura 4.** Análise de escalonamento multidimensional (NMS) aos 120 dias do estabelecimento do consórcio correlacionado com atributos químicos e físicos do solo em áreas de pastagens de *Cenchrus ciliares* L. em diferentes níveis de sombreamento (A), com ou sem *Clitorea ternatea* L (B). Os valores apresentados entre parênteses correspondem ao percentual da variação explicada pelos eixos da ordenação..... 74
- Figura 5.** Análise de escalonamento multidimensional (NMS) aos 165 dias do estabelecimento do consórcio correlacionado com atributos químicos e físicos do solo em áreas de pastagens de *Cenchrus ciliaris* L.com e sem *Clitorea ternatea* L. Os valores apresentados entre parênteses correspondem ao percentual da variação explicada pelos eixos da ordenação..... 75
- Figura 6.** Análise de escalonamento multidimensional (NMS) aos 210 dias do estabelecimento do consórcio correlacionado com atributos químicos e físicos do solo em áreas de pastagens de *Cenchrus ciliares* L. em diferentes níveis de sombreamento (A), com ou sem *Clitorea ternatea* L. (B). Os valores apresentados entre parênteses correspondem ao percentual da variação explicada pelos eixos da ordenação..... 76

## ARTIGO 2

**Figura 1.** Precipitação pluviométrica e temperatura mínima e máxima no período de setembro de 2013 a abril de 2014, Petrolina-PE..... **98**

**LISTA DE TABELAS**  
**REVISÃO DE LITERATURA**

<b>Tabela 1.</b> Principais espécies forrageiras utilizadas em consórcio.....	<b>25</b>
<b>Tabela 2.</b> Principais indicadores físicos, químicos e biológicos e suas relações com a qualidade do solo.....	<b>33</b>
<b>Tabela 3.</b> Revisão de literatura dos principais trabalhos em áreas de pastagens, sombreadas e consorciadas e seus efeitos sobre os indicadores de qualidade do solo.....	<b>45</b>

**ARTIGO 1**

<b>Tabela 1.</b> Caracterização química do solo, considerando os períodos de coleta e os níveis de sombreamento, em pastagens de <i>Cenchrus ciliaris</i> consorciadas ou não com plantas de <i>Clitoria ternatea</i> L.....	<b>63</b>
<b>Tabela 2.</b> Caracterização química do solo, considerando os períodos de coleta e os níveis de sombreamento, em pastagens de <i>Cenchrus ciliaris</i> consorciadas ou não com plantas de <i>Clitoria ternatea</i> L.....	<b>64</b>
<b>Tabela 3.</b> Carbono da biomassa microbiana do solo (C-BM), respiração do solo (RS) e quociente metabólico ( $qCO_2$ ), na rizosfera de plantas de <i>Cenchrus ciliaris</i> consorciadas (COM) ou não (SEM) com <i>Clitoria ternatea</i> L., em diferentes níveis de sombreamento antes do estabelecimento, 120, 165 e 210 dias de cultivo.....	<b>66</b>
<b>Tabela 4.</b> Atividade da $\beta$ -glucosidase, urease e fosfatase ácida na rizosfera de plantas de <i>Cenchrus ciliaris</i> consorciadas (COM) ou não (SEM) com <i>Clitoria ternatea</i> L., em diferentes níveis de sombreamento antes do estabelecimento, 120, 165 e 210 dias de cultivo.....	<b>69</b>
<b>Tabela 5.</b> Análise de comparação entre áreas sombreadas com e sem consórcio pela análise de MRPP em áreas de pastagens de <i>Cenchrus ciliaris</i> L. nos diferentes períodos de coletas (antes do estabelecimento da leguminosa, 120, 165 e 210 dias de cultivo).....	<b>77</b>
<b>Tabela 6.</b> Coeficiente de correlação das variáveis analisadas com os eixos 1 e 2 da ordenação NMS.....	<b>78</b>

## ARTIGO 2

<b>Tabela 1.</b> Caracterização química do solo, considerando os períodos de coleta e os níveis de sombreamento, em pastagens de <i>Cenchrus ciliaris</i> consorciadas ou não com plantas de <i>Clitoria ternatea</i> L.....	<b>99</b>
<b>Tabela 2.</b> Colonização micorrízicas e número de glomerosporos antes do estabelecimento da leguminosa (AEC), aos 120, 165 e 210 dias de cultivo de <i>Cenchrus ciliares</i> L. e <i>Clitoria ternatea</i> L. sob diferentes níveis de sombreamento.....	<b>104</b>
<b>Tabela 3.</b> Carboidratos totais (CT), redutores (CR) e não redutores (CNR) aos 120, 165 e 210 dias de cultivo <i>Cenchrus ciliaris</i> L. em consórcio com <i>Clitoria ternatea</i> L. sob diferentes níveis de sombreamento.....	<b>106</b>
<b>Tabela 4.</b> Coeficiente de correlação de Pearson entre a colonização micorrízica (CM) e número de glomerosporos (NG) e carboidratos totais, redutores e não redutores aos 120, 165 e 210 dias de cultivo de <i>Cenchrus ciliaris</i> L. em consórcio com <i>Clitoria ternatea</i> L.....	<b>108</b>
<b>Tabela 5.</b> Abundância relativa (AR) e frequência de ocorrência (FO) de espécies de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) nos tratamentos de sombreamento sem e com a presença da leguminosa.....	<b>110</b>
<b>Tabela 6.</b> Abundância relativa (AR) e frequência de ocorrência (FO) de espécies de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) ao longo dos períodos de coleta.....	<b>112</b>
<b>Tabela 7.</b> Riqueza das espécies (S), índice de diversidade de Shannon (H'), equitabilidade de Pielou (J') e dominância (D) em áreas de pastagens de <i>Cenchrus ciliaris</i> L. sem ou com <i>Clitoria ternatea</i> L. e ao longo dos períodos de coletas.....	<b>114</b>
<b>Tabela 8.</b> Contribuição das espécies (SIMPER) de FMA por dissimilaridade entre os grupos nas áreas com e sem leguminosa nos diferentes níveis de sombreamento.....	<b>115</b>
<b>Tabela 9.</b> Análise de similaridade (ANOSIM) entre os períodos de coletas antes do estabelecimento, aos 120, 165 e 210 dias de cultivo.....	<b>116</b>
<b>Tabela 10.</b> Contribuição das espécies (SIMPER) de FMA por dissimilaridade entre os grupos ao longo dos períodos de coletas.....	<b>116</b>

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>11</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>13</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>17</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>20</b>
<b>2.1 Efeito do sombreamento sobre a produção vegetal.....</b>	<b>20</b>
<b>2.2 Efeito do consórcio gramínea x leguminosa na produção vegetal.....</b>	<b>22</b>
<b>2.3 Carboidratos solúveis em espécies forrageiras.....</b>	<b>27</b>
<b>2.4 Caracterização das espécies forrageiras.....</b>	<b>28</b>
<b>2.4.1 <i>Cenchrus ciliaris</i> L.....</b>	<b>28</b>
<b>2.4.2 <i>Clitorea ternatea</i> L.....</b>	<b>30</b>
<b>2.4 Indicadores da qualidade do solo.....</b>	<b>31</b>
<b>2.5 Fungos micorrízicos arbusculares (FMA).....</b>	<b>40</b>
<b>2.6 Efeito do sombreamento e do consórcio gramínea x leguminosa sobre a comunidade microbiana.....</b>	<b>43</b>
<b>3. CARBONO DA BIOMASSA MICROBIANA E ATIVIDADE ENZIMÁTICA EM PASTAGEM SOMBREADA E CONSÓRCIADA SOB CONDIÇÕES SEMIÁRIDAS</b>	<b>54</b>
<b>Resumo.....</b>	<b>55</b>
<b>Introdução.....</b>	<b>56</b>
<b>Material e Métodos.....</b>	<b>58</b>
<b>Resultados.....</b>	<b>62</b>
<b>Discussão.....</b>	<b>79</b>
<b>Conclusão.....</b>	<b>86</b>

<b>Referências Bibliográficas.....</b>	<b>87</b>
<b>4. COMUNIDADE DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM PASTAGEM CONSORCIADAS E SOMBREADAS SOB CONDIÇÕES SEMIÁRIDAS</b>	<b>92</b>
<b>Resumo.....</b>	<b>93</b>
<b>Introdução.....</b>	<b>94</b>
<b>Material e Métodos.....</b>	<b>96</b>
<b>Resultados.....</b>	<b>102</b>
<b>Discussão.....</b>	<b>118</b>
<b>Conclusão.....</b>	<b>124</b>
<b>Referências Bibliográficas.....</b>	<b>125</b>
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>132</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS GERAIS.....</b>	<b>133</b>

## 1. INTRODUÇÃO

No Brasil, estima-se que as pastagens ocupem aproximadamente 190 milhões de hectares sob diferentes condições de manejo (KASCHUK et al. 2010). Estas pastagens são de grande relevância, principalmente por ser responsável por fornecer 90% dos nutrientes exigidos pelos ruminantes. (EUCLIDES et al. 2010). Porém, durante o período de seca em regiões semiáridas, a oferta de alimento forrageiro é reduzida e o material disponível, em geral, apresenta baixa aceitação e digestibilidade, resultando em baixos índices zootécnicos (SILVA; SALIBA, 2007).

Tal fato tem impulsionado a busca pela melhoria na qualidade e na sustentabilidade das pastagens, bem como no bem-estar animal ao longo dos anos. Diversas pesquisas tem mostrado que o emprego de gramíneas consorciadas com leguminosas e/ou árvores, podem trazer melhorias nas condições ambientais, pois contribui na redução dos gases do efeito estufa (N<sub>2</sub>O), reduz a aplicação de fertilizantes nitrogenados, aumenta o sequestro de C, promove a conservação da biodiversidade e qualidade da água (PERIN et al. 2004; THEVATHASAN; GORDON, 2004; CARVALHO; PIRES, 2008; TEIXEIRA et al. 2009; RODRIGUES et al. 2012). Dentre as plantas forrageiras utilizadas no semiárido e que podem se beneficiar destas práticas de manejo, destacam-se o capim buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) e cunhã (*Clitoria ternatea* L.). Segundo Gomes; Kalamani (2003) e Monção et al. (2011), estas plantas apresentam alto potencial produtivo, tolerância e adaptação a longos períodos de estiagens, sendo consideradas como fontes alternativas na alimentação dos animais em período de escassez.

Ressalta-se, entretanto, que o emprego do sistema de consórcio favorece o sombreamento das plantas, atuando em seu crescimento e nutrição mineral. Embora a maioria das gramíneas, a exemplo do capim buffel, necessite de alta intensidade de luz para estimular seu desenvolvimento quando comparado às leguminosas, plantas de capim buffel têm apresentado excelentes respostas do ponto de vista nutricional quando sombreadas (MIRSHA et al. 2010). Estes resultados podem ser decorrentes da maior

eficiência fotossintética e concentração de clorofila a e b em plantas de *Cenchrus ciliaris* sombreadas (RIBASKI; MENEZES, 2002).

Por outro lado, o sistema de consórcio entre árvores e culturas agrícolas pode trazer maior competição por nutrientes, água e principalmente por luz, sendo as plantas C4 mais sensíveis ao sombreamento (BAINARD et al. 2011). As mudanças que ocorrem acima da superfície do solo podem ocasionar impacto direto sobre a microbiota do solo, e considerando a importância dessa comunidade nos diversos processos relacionados à qualidade edáfica e produção vegetal, sendo necessário a realização de estudos para melhor compreensão desses processos e posterior manejo das áreas.

As práticas de manejo propostas para sustentabilidade dos agroecossistemas do semiárido, tais como: introdução de leguminosas e implantação de áreas sombreadas, estão relacionadas diretamente com a comunidade microbiana do solo. Dentre os grupos de micro-organismos do solo mais estudados, destacam-se os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) que representam de 5 a 10% da biomassa microbiana edáfica (FITTER et al. 2011), trazendo benefícios nutricionais e não nutricionais às plantas e desempenhando papel importante nos ecossistemas agrícolas (SMITH; READ, 2008), e podendo também ser utilizados como indicadores de qualidade do solo (SCHLOTTER; DILLY; MUCH, 2003).

Estudos referentes ao efeito do sombreamento e do consórcio em sistemas agroflorestais sobre o número de glomerosporos, colonização micorrízica e ocorrência de táxons de FMA em áreas de pastagens e cultivadas foram realizados em regiões tropicais (PANDE; TARAFDAR, 2004; MULETA et al. 2007; MULETA et al. 2008; SOUSA et al. 2013; SOUSA et al. 2014). E de modo geral, encontraram aumento na diversidade das espécies de FMA e no número de propágulos nestas condições de manejo.

Além da detecção dos FMA, outros indicadores de qualidade do solo têm sido utilizados para monitorar os efeitos dessas práticas de manejo. Os bioindicadores mais estudados em sistemas de pastagens são: o carbono da biomassa microbiana (C-BM), respiração do solo (RS) e atividade enzimática (BURNS, 1982; GRAYSTON et al. 2001; KAUR et al. 2010; SAVIOZZI et al. 2001). Em estudo realizado em Custódia, no semiárido de Pernambuco,

plantas de *Cenchrus ciliaris* sombreadas por espécies de *Prosopis juliflora* (Sw.) DC em sistema silvipastoril tiveram redução no carbono e nitrogênio da biomassa microbiana e na  $\beta$ -glucosidade em sua rizosfera (WICK et al. 2000). Em sistemas agroflorestais com áreas de pastagens, consorciadas ou não com eucalipto, foram observadas taxas de respiração basal do solo entre 448,81 e 538,25 mg CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> h, sendo tais valores decorrentes da maior quantidade de matéria orgânica disponibilizada pela serapilheira sob a cobertura vegetal (ASSIS JÚNIOR et al. 2003).

O conhecimento sobre a composição da comunidade microbiana torna-se uma ferramenta importante para determinar os efeitos dos diferentes sistemas de uso da terra. Vallejo et al. (2012) constataram que a composição da comunidade microbiana é dependente do manejo da terra, observando predominância de bactérias em pastagem convencional; enquanto que em sistemas silvipastoris intensivo houve dominância de biomassa fúngica. Dessa forma, a utilização de ferramentas com elevada precisão é necessária para determinar o impacto ocasionado por essas práticas de manejo.

Uma das alternativas que poderá auxiliar na quantificação da comunidade microbiana do solo é a técnica de PCR em tempo real (*real time-PCR*), essa técnica é de elevada sensibilidade, alta precisão e de baixo risco de contaminação cruzada (KLEIN, 2002). Plassart et al. (2008) utilizando a técnica de PCR em tempo real, quantificaram a comunidade fúngica e bacteriana em pastagens restauradas, constatando que a prática intensiva do manejo reduz a comunidade microbiana edáfica.

Embora estudos tenham demonstrado que o sombreamento causado por *P. juliflora* em *C. ciliaris* pode afetar a atividade microbiana (WICK et al. 2000), os níveis percentuais de sombreamento que podem efetivamente influenciar a comunidade microbiana não foram estabelecidos, bem como o efeito do consórcio em tais condições. Dessa forma, estudos que demonstrem como os níveis de sombreamento e o consórcio afetam a comunidade microbiana e sua atividade na rizosfera de plantas de *Cenchrus ciliaris* e *Clitoria ternatea* são importantes para a região semiárida, de forma que possam prever as possíveis alterações na funcionalidade do solo, visando à adoção de manejo mais adequado para garantir a qualidade do solo e melhoria

na produtividade das pastagens. Nesse sentido, o objetivo desse trabalho foi avaliar impacto de diferentes níveis de sombreamento e do consórcio entre gramínea e leguminosa sobre a comunidade microbiana.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Efeito do sombreamento sobre a produção vegetal**

O desempenho de uma planta, além dos fatores genéticos, depende dos fatores edáficos e ambientais, que podem incrementar ou reduzir o seu crescimento. Fatores como a intensidade de luz, temperatura, precipitação e a própria qualidade do solo parecem ser os maiores entraves quando se pensa em alcançar alta produtividade vegetal. A intensidade de luz disponível é importante para que seu aparelho fotossintético seja adaptado, pois as condições impostas afetam a estrutura do cloroplasto (KERBAUY, 2008). Desta forma, respostas a estas adaptações serão refletidas no crescimento geral da planta (CASTRO; ALVARENGA, 2002).

O efeito do sombreamento em gramíneas vem sendo estudado por diversos autores, principalmente pelo interesse em associar espécies forrageiras com plantas arbóreas visando constituir o sistema silvipastoril. Salienta-se que a redução severa na intensidade de luz pode provocar diminuição na produção de biomassa aérea e radicular devido a menor capacidade fotossintética (LÁZARO, 2007). Desta forma, a intensidade adequada para não haver comprometimento da produção vegetal deve ser determinada.

De maneira geral, o sombreamento tem efeito maior nos parâmetros de crescimento das gramíneas, que apresentam metabolismo C4, que ocorrem em ambientes com elevada irradiância e temperatura (KERBAUY, 2008), podendo ser negativamente afetados em situação de sombreamento. Espécies como *Brachiaria brizantha* (Hochst.) Stapf. e *B. humidicola* (Rendle) Schweick apresentavam menor acúmulo de massa seca de raízes em condição de sombreamento (DIAS-FILHO, 2002). Mais tarde, Mastucello et al. (2009) demonstraram que a redução da produção de raiz em plantas de *Brachiaria*

*decumbens*, *Brachiaria brizantha* (Hochst. ex. A. Rich.) Stapf cvs Marandu e Xaraés submetidas ao sombreamento em 50% variava de 45 a 65%, enquanto que em 70% de sombreamento esta diminuição foi mais acentuada, de 73 a 93%. Segundo Peres (2005), menor produção de massa seca de raiz em ambientes com baixa luminosidade pode ser justificada pela alocação de fotoassimilados para o crescimento da parte aérea.

Desta forma, plantas que crescem em ambiente sombreados investem, relativamente, mais recursos provindos da fotossíntese em área foliar (TAIZ; ZEIGER, 2006). Por outro lado, o desenvolvimento vegetal é dependente do suporte radicular, que é responsável pela absorção de nutrientes e água (CORSI et al. 2001). Considerando este fato, a redução na disponibilidade de luz pode afetar a assimilação de minerais pelas plantas. Percentuais acima de 30% de sombreamento reduziram os teores de Ca e K nos caules de *Andropogon gayanus* Kunth e *Setaria sphacelata* Schumach (CASTRO et al. 2001). No entanto, o aumento do sombreamento promoveu maior acúmulo de nitrogênio na parte foliar de plantas *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, *Panicum maximum* cvs. Aruana, Makueni, Mombaça e Tanzânia (CASTRO et al. 1999; CARVALHO et al. 2002). Além do teor de N, elementos como Ca, K e Mg tiveram maior acúmulo nas folhas de plantas de capim buffel sombreadas por *Acacia tortili* (Forssk) Hayne (MISHRA et al. 2010). Tais resultados indicam que os efeitos do sombreamento sobre o acúmulo de nutrientes pode variar em decorrência da espécie vegetal e da intensidade do sombreamento, demonstrando a importância de se conhecer o efeito destes parâmetros para aumentar a qualidade nutricional das plantas forrageiras.

A clorofila é um componente muito importante para as plantas, por ser responsável por transformar a energia da luz solar em energia química através da fotossíntese, e o sombreamento pode alterar a presença desse pigmento. Tal fato foi constatado por Dias-Filho (2002) em plantas de *B. brizantha* e *B. humidicola* que ao serem submetidas a 40% de sombreamento reduziram os teores de clorofila a e b, o autor atribuiu este resultado a falta de plasticidade destas gramíneas a esta condição. Ao contrário, plantas de *Cenchrus ciliaris* sombreadas por algaroba apresentaram maior concentração de clorofila a e b e maior eficiência fotossintética (RIBASKI, 2000). Este resultado foi confirmado

por Mishra et al. (2010) que encontraram maior teor de clorofila a e b em plantas de capim buffel sombreada por *Acacia tortilis* quando comparado as mantidas a pleno sol.

O sombreamento promove a formação de um microclima dentro da área em que a planta se encontra e esse ambiente pode favorecer o desenvolvimento das plantas, devido à temperatura amena e redução da perda de água por evaporação. Soares et al. (2009) verificaram que em gramíneas sombreadas por *Pinus taeda* L., o percentual de umidade do solo era maior (30%) do que as mantidas a pleno sol (27%), estando sujeitas a menor velocidade do vento (0,76 a 1,11 m/s) e radiação solar. A redução na intensidade de radiação solar promove maior retenção de água no solo, melhorando suas condições físicas e químicas, bem como a atividade dos micro-organismos na camada superficial do solo (WILSON, 1998; SÁNCHEZ et al. 2003). Dessa forma, o sombreamento pode promover maior atividade dos micro-organismos no solo garantindo sustentabilidade das pastagens, considerando o papel que este grupo desempenha na qualidade edáfica.

## **2.2 Efeito do consórcio gramínea x leguminosa na produção vegetal**

Desde a década de 1960, as leguminosas têm sido estudadas como alternativa para o fornecimento de nitrogênio aos ecossistemas de pastagens. O aumento da produtividade em gramíneas promovido pelo consórcio com leguminosas ocorre devido à capacidade de fixação biológica do N pelas leguminosas e pela disponibilidade deste nutriente, proporcionando assim benefícios à dieta animal (CARVALHO; PIRES, 2008).

Em geral, cerca de 80% do nitrogênio acumulado nas leguminosas é proveniente da fixação biológica. Porém, a quantidade de nitrogênio fixado varia de acordo com a espécie vegetal, fertilidade do solo e condições ambientais (BARCELLOS et al. 2008). A busca pelo aumento na produtividade animal, através da melhoria do valor nutricional da forrageira, torna-se uma necessidade, pois reduz os custos com fertilizantes nitrogenados e conseqüentemente o impacto ambiental gerado por esta prática; desta forma o

suprimento de N pela leguminosa pode aumentar a produtividade da gramínea consorciada, ampliando a vida útil da pastagem (BARCELLOS et al. 2008). Vários estudos foram realizados com espécies forrageiras em sistemas de consórcio no Brasil (Tabela 1).

Plantas de milho apresentavam menores teores de N e Ca quando comparadas à crotalaria ou ao consórcio crotalaria+milho, devido à grande capacidade da leguminosa em fixar o N atmosférico (57%), principalmente quando consorciada a uma gramínea (61%), incorporando ao solo 89 e 173 kg de N, respectivamente (PERIN et al. 2004).

Por outro lado, alguns fatores podem afetar a persistência da leguminosa, trazendo grandes limitações para o funcionamento sistema. Dentre estes fatores, destacamos: hábito de crescimento das plantas forrageiras, adaptação às condições edafoclimáticas, tolerância ao sombreamento, pisoteio, desfolha, carga animal, manejo e adubação (CARVALHO; PIRES, 2008).

Ressalta-se que as características produtivas e qualitativas em pastagem de braquiária em monocultivo e consorciada com estilosantes são afetadas pelas variações estacionais, visto que estas podem influenciar na composição química e bromatológica de pastagens consorciadas (PACIULLO et al. 2003). Segundo estes autores, *Stylosantes guianensis* (Aubl.) SW. apresentou variáveis de degradabilidade e teores de fibra em detergente neutro (FDN) e de proteína bruta (PB) compatíveis com as de uma forrageira de melhor valor nutricional, melhorando a qualidade da forragem disponível, principalmente em épocas secas do ano. Resultado semelhante foi observado por Teixeira Vitor et al. (2008) que verificaram teor de PB de capim-braquiária em consórcio com estilosantes, no período seco, superior ao do capim-braquiária em monocultivo.

Diversos consórcios entre gramíneas (*Andropogon gayanus* Kunth; *Setaria anceps* Stapf; Híbrido de tangola; *Cynodon plectostachyus* [Chiov.] Chiov.; *Brachiaria brizantha* Stapf; *Brachiaria humidicola* [Rendle] Schweick) e leguminosas (soja perene; *Macroptilium atropurpureum* [Moc. & Sessé ex DC.] Urb.; *Cetrosema pubescens* Benth) têm fornecido aos animais

uma mistura de forrageira mais rica em proteína bruta do que os monocultivos de gramíneas (SOUZA et al. 2002).

Estudo conduzido em Pentecoste-CE, avaliando o consórcio de capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) e Cunhã (*Clitorea ternatea* L.), demonstrou que maior produção de matéria seca (MS) em t/ha (5,1%) foi alcançada com o consórcio quando comparada ao monocultivo (3,3%), sugerindo a adoção do cultivo destas espécies em consórcio para o aumento da produtividade e do valor nutritivo da forragem (ARAÚJO-FILHO et al. 2000).

Por outro lado, algumas combinações de consórcio entre leguminosas tropicais (amendoim forrageiro, estilosantes e Java) e variedades de aveia (IPR126 e IAPAR 61) não apresentaram vantagem na produção de matéria seca (UHLEIN et al. 2008). Porém, consórcio específico, e.g. aveia (IPR126) e *Stylosantes*, pode resultar em maior MS do que outras combinação, e.g. aveia (IPR126) e amendoim; sendo este fato atribuído a ausência de competição entre as espécies e o hábito de crescimento prostrado das plantas envolvidas (UHLEIN et al. 2008).

A agressividade e capacidade de competição que algumas gramíneas apresentam podem inviabilizar o cultivo em consórcio, dentre estes, o cultivo de espécies de *Brachiaria* com *Stylosantes guianensis* cv. Mineirão; porém o consórcio com *Panicum maximum* cv. Mombaça foi promissor, resultando em maior disponibilidade de matéria seca (ANDRADE et al. 2003).

**Tabela 1.** Principais espécies forrageiras utilizadas em consórcio.

Gramíneas	Leguminosas	Benefício	Estado	Bioma	Referencias
<i>Brachiaria decumbens</i> Stapf	<i>Stylosantes guianensis</i> cv. Mineirão	Aumento da massa de forragem	MG	Mata Atlântica	Paciullo et al. (2003)
<i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu	<i>Glycine max</i> L.	Silagem com maior teor MS e PB	MG	Mata Atlântica	Leonel et al. (2009)
<i>Zea mays</i> L.	<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.	Aumento da produtividade dos grãos de milho	AC	Amazônia	Costa; Marinho (2000)
<i>Pennisetum glaucum</i> L.	<i>Cajanus cajan</i> ; <i>Crotalaria juncea</i> ; <i>ensiformis</i> ; <i>aterrimum</i>	Aumento na produção de MS e aumento no acúmulo de nitrogênio	MS	Cerrado	Rodrigues et al. (2012)
<i>Pennisetum typhoides</i> (Burm.) Stapf	<i>Crotalaria juncea</i>	Aumento na produção de MS e maior acúmulo de macronutrientes	MG	Mata Atlântica	Teixeira et al. (2009)
<i>Brachiaria decumbens</i> Stapf	<i>Stylosanthes guianensis</i> cv. Mineirão	Maior teor de PB	MG	Mata Atlântica	Texeira Vitor et al. (2008)
<i>Pennisetum americanum</i>	<i>Crotalaria juncea</i>	Aumento na incorporação de nitrogênio ao solo via FBN	MG	Mata Atlântica	Perin et al. (2004)
<i>Cynodon dactylon</i> cv.	<i>Arachis pintoi</i> cv. Amarillo	Aumento na produção de	PR	Mata Atlântica	Barbero et al. (2009)

Coastcross)			forragem			
<i>Lolium multiflorum</i> Lam.	<i>Avena strigosa</i> Schreb		Aumento no teor de PB	RS	Pampa	Skonieski et al. (2011)
	<i>Trifolium repens</i> L.					
	<i>Arachis pintoii</i> Krapov. & Gregory					
<i>Pennisetum purpureum</i> Schum.	<i>Clitorea ternatea</i> L.		Aumento da produtividade e do valor nutritivo da forragem	CE	Caatinga	Araújo-Filho et al. (2000)
<i>B. brizantha</i> cv. Marandu	<i>Stylosanthes guianensis</i> cv. Mineirão e <i>Eucalyptus</i> sp.		Boa capacidade produtiva em sistemas silvipastoris	MG	Cerrado	Andrade et al. (2003).
<i>B. brizantha</i> cv. MG-4						
<i>B. decumbens</i> cv. Basilisk						
<i>Panicum maximum</i> cv. Mombaça						
<i>Melinis minutiflora</i>						
<i>Hyparrhenia rufa</i>						
<i>Brachiaria decumbens</i> cv. Basilisk	<i>Stylosanthes guianensis</i> cv. Mineirão		Aumento na taxa de sobrevivência dos perfilhos	AL	Caatinga	Martuscello et al. (2011).
	<i>Calopogonium mucunoides</i>					

---

**PB—Proteína bruta; MS – Matéria seca; FBN – Fixação biológica do Nitrogênio.**

### 2.3 Carboidratos solúveis em espécies forrageiras

Os carboidratos de reserva são conhecidos como carboidratos não-estruturais, estes representam de 50 a 80 % do peso seco total dos vegetais. A sacarose e frutose são os principais constituintes de reserva para as gramíneas de clima temperado, enquanto que a sacarose e o amido são os principais carboidratos solúveis de gramíneas de origem tropical (WHITE, 1973). Estes carboidratos têm como função principal fornecer energia para maioria dos organismos vivos (RAVEN et al. 2001).

Os monossacarídeos são açúcares redutores, pois possuem um grupamento carbonílico ou cetônico livre, enquanto que os oligo e polissacarídeos não apresentam essas características, por isso são denominados de não redutores de glicose (SILVA et al. 2003). A maioria dessas reservas em planta forrageira está armazenada em regiões inferiores da base, tronco, estolões e rizomas. Estes solutos podem ser afetados drasticamente pelos fatores de manejo, tais como o estágio de desenvolvimento das plantas, temperatura, estresse hídrico, variações sazonais e adubação nitrogenada (WHITE, 1973).

No entanto, poucos estudos têm averiguado como o sombreamento e a introdução de espécies leguminosas em ambientes de pastagens pode influenciar a presença desses compostos essenciais. Grande parte dos estudos realizados no Brasil tem focado em relacionar a desfolhação com o investimento dos carboidratos redutores para rebrota. Da Silva et al. (2012) avaliando a produtividade e os carboidratos de reservas em área de pastagem sob diferentes intensidades de corte, observaram que o aumento na frequência de corte ocasionou queda nos níveis dos carboidratos de reserva. Tais resultado corroboram os de Alexandrino et al. (2008) que encontraram redução no conteúdo de carboidratos totais não-estruturais após a desfolhação, porém, o aumento nas doses de N estimulou a produção destes compostos.

Em estudo realizado nos Estados Unidos, gramíneas (*Dactylis glomerata* L.) sombreadas por espécies arbóreas florestais, apresentaram melhoria no valor nutritivo nos menores níveis de sombreamento; no entanto, quando os

níveis de sombreamento aumentavam, o teor de carboidratos solúveis na planta reduzia.

Desta forma, o conhecimento do efeito do sombreamento e do consórcio sobre os carboidratos solúveis em áreas de pastagens, principalmente na rizosfera de plantas de capim buffel e cunhã, são necessários para subsidiar manejo de pastagens que possam garantir sustentabilidade e a qualidade das forrageiras em regiões semiáridas.

## **2.4 Caracterização das espécies forrageiras**

### **2.4.1 *Cenchrus ciliaris* L.**

O capim buffel (*Cenchrus ciliaris*) é uma gramínea originária da África, Índia e Indonésia. *Cenchrus ciliaris* pertence à família Poaceae e subfamília Panicoideae, gênero *Cenchrus* (AYERSA,1981). Esta forrageira foi introduzida no Brasil em 1953, no estado de São Paulo, difundindo-se para demais regiões do país, principalmente no semiárido em decorrência das suas características estruturais e fisiológicas de tolerância à seca (BORTEL et al. 1998), e sua elevada eficiência de uso da água (ARRIAGA et al. 2004; MEDEIROS; DUBEUX JR. 2008). Devido à escassez de alimento no semiárido durante o período seco, o capim búffel veio minimizar esses efeitos, e atualmente é a principal espécie forrageira cultivada no semiárido.

*Cenchrus ciliaris* é uma gramínea perene, de porte variando de 0,6 a 1,5 m de altura, a depender da variedade ou cultivar, apresenta base do colmo avolumada, onde são armazenadas as reservas de carboidratos para o “período de seca”, o que torna essa planta resistente, além de apresentar grande capacidade de rebrota (PUPO, 1979).

O capim buffel produz forragem de alto valor nutritivo, com alta digestibilidade da matéria seca e elevada palatabilidade (OLIVEIRA, 1981). Algumas cultivares têm sido utilizadas no nordeste do país, com destaque a cultivar biloela caracterizada por apresentar porte ereto atingindo aproximadamente 1,50 m de altura, formando rizomas e touceiras, com excelente enraizamento e florescimento tardio (PUPO, 1979). No período chuvoso, os valores de proteína bruta (PB) chegam a 10% e a digestibilidade *in vitro* da MS superior a 60% (DANTAS NETO et al. 2000; VOLTOLINI et al.

2010). Desta forma, nutricionalmente esta forrageira pode ser uma ótima fonte proteica e digestiva para os animais, salientando-se que no período seco há necessidade de suplementação, principalmente para regiões semiáridas.

Além disso, é uma gramínea pouco exigente em solos férteis, preferindo solos não encharcados e de textura leves; apresentando capacidade de permanecer no campo na forma de “feno em pé”, por longos períodos de estiagem sem causar a sua decomposição quando comparado a outras forrageiras (OLIVEIRA, 1993).

Esta forrageira tem apresentando excelente produtividade durante o período de estiagem, constatando-se produtividade de biomassa entre 3,11 a 5,91 t/ ha<sup>-1</sup> de MS no semiárido pernambucano (MOREIRA et al. 2007). Na Índia, a produtividade de biomassa alcançada pelo capim buffel foi próximo a 9,5 t ha<sup>-1</sup> (RAJKUMARI; ARCHANA, 2013).

Apesar da importância dessa gramínea para regiões semiáridas, informações relacionadas à sua utilização em sistema de consórcio ainda são escassas. Porém, a busca por estratégias de manejos utilizando o capim buffel associado a um coquetel vegetal é de grande importância regional, visando o aumento da eficiência no uso da forragem, bem como de vida útil da pastagem.

Em região semiárida da Índia, foi observado que a combinação *Cenchrus ciliaris* com espécies arbóreas incrementou na produção de matéria seca de 1.507,00 para 1.843,50 kg ha<sup>-1</sup> (ARYA, 2006). Além do aumento na produtividade, a qualidade da forragem de capim buffel produzida sob a copa de *Prosopis juliflora* apresentou melhoria no seu valor nutricional, com maior teor de proteína bruta (RIBASKI; MENEZES 2002). Outras combinações, como capim buffel+leucena e capim buffel+guandu foram testadas, destacando-se o consórcio capim buffel+leucena que apresentava melhor qualidade nutricional (SOUZA; ESPINDOLA, 1999). Por outro lado, constatou-se que a produção de perfilhos e área foliar *Cenchrus ciliaris* diminuiu sob a copa de *Acacia tortilis* (Forssk.) Hayne (MISHRA et al. 2010).

A redução nas variáveis de crescimento pode depender da escolha de plantas consorciadas com capim buffel, pois observou-se maior produção de biomassa em capim buffel no consórcio com árvores (6,241 kg ha<sup>-1</sup>) do que com milho+feijão (4,644 kg ha<sup>-1</sup>) e palma (4,257 kg ha<sup>-1</sup>) no semiárido

paraibano (MARTINS et al. 2013). Além do aumento na produção, verificou-se que o sistema de consórcio pode contribuir para melhoria da fertilidade do solo, como constatado em trabalho realizado, no sertão pernambucano (MENEZES et al. 2002).

Desta forma, verifica-se o potencial forrageiro do capim búffel, visando seu uso em sistemas consorciados, a fim de reduzir os efeitos da estacionalidade de produção em regiões semiáridas.

#### **2.4.2 *Clitoria ternatea* L.**

*Clitoria ternatea* L. distribui-se por vários países do mundo, principalmente em regiões tropicais e subtropicais, tornando-se naturalizada, mas acredita-se que sua origem foi na Ásia tropical (GOMES; KALAMANI, 2003). Classificada na família Fabaceae, subfamília Faboideae, tribo Phaseoleae e subtribo Clitoriinae (COOK et al. 2005), apresenta talos finos que chegam a atingir aproximadamente 3,0 m de altura, com flor única de cor azul intensa e pedúnculo curto (4,0-5,0 cm de comprimento) com cinco folíolos (GUPTA et al. 2010). Esta planta adapta-se a solos com pH de 5,5-8,9 e tolera períodos de chuvas e secas prolongadas, seu sistema radicular é constituído de uma raiz principal com alguns ramos e raízes laterais finas, propagando-se por meio de sementes que possuem cor marrom-amarelada ou escura, com formato oval ou subgloboso (GUPTA et al. 2010; HALL, 1985; MUKHERJEE et al. 2008).

Esta espécie, conhecida como cunhã, é considerada uma planta bianual tolerante a seca e a certo teor de salinidade, alcançando excelente resposta à irrigação; sendo resistente ao pastejo devido à capacidade de permitir até oito cortes por ano a cada 45 dias com alta capacidade de rebrota (AVALOS et al. 2004; MISTURA et al. 2011). É uma leguminosa que apresenta alta palatabilidade, 18%-24% de proteína bruta e digestibilidade da matéria seca entre 60-70% (GOMES; KALAMANI, 2003). Além de fonte de alimento animal, a cunhã pode ser utilizada como planta medicinal por apresentar princípios bioativos, na forma de adubação verde e devido à cor da sua flor pode ser utilizada como planta ornamental (GUPTA et al. 2010; GOMES; KALAMANI,

2003). É considerada uma leguminosa herbácea perene, vigorosa e fortemente persistente, apresentando variação fenotípica devido a diversas origens geográficas (MORRIS, 2009).

As leguminosas de maneira geral apresentam papel ecológico de grande relevância, em especial as espécies do gênero *Clitoria*, pois promove o desenvolvimento de um habitat favorável para o desenvolvimento de micro-organismos do solo, bem como melhorias nas propriedades físicas e químicas do solo devido à sua alta capacidade de fixar o nitrogênio atmosférico até 180 dias de plantio (ALDEREZ-CHÁVEZ et al. 2011). Outra forma de utilização das leguminosas é o uso em sistema de consórcio, por proporcionar melhor aeração do solo, maior quantidade e utilização do N na forma orgânica, e inorgânica quando aplicado através de resíduos provenientes de leguminosas (AGUIAR et al. 2010).

Os benefícios da utilização de leguminosas em sistema de consórcio se estendem a produção de mudas, como observado em *Setaria sphacelata* (Schumach.) Stapf & C.E Hubb. consorciada com *Clitoria ternatea* e *Stylosanthes scabra* Vogel, que alcançou maior produção de matéria seca e teores de N equivalente de 39,8 e 46,9 Kg N ha<sup>-1</sup>, respectivamente (DWIVEDI; KUMAR 1999). Verifica-se ainda que pode ocorrer melhoria na qualidade do solo, com aumento nos teores de matéria orgânica, N, K, Ca e Mg e redução na condutividade elétrica e teor de Na, com a adoção de sistema de consórcio com árvores *Leucena* + *Clitoria* (ELFEEL et al. 2013).

Dessa forma, há grande potencial para utilização de leguminosas para o desenvolvimento e sustentabilidades das pastagens, reduzindo o custo de produção e melhorando a qualidade dos solos.

## **2.4 Indicadores biológicos de qualidade do solo**

O aumento da degradação ambiental proveniente das práticas agrícolas tem impulsionado a busca por ferramentas biológicas, tais como o uso de indicadores do solo com o papel de predizer os efeitos decorrentes destas práticas sobre a qualidade do solo, visando determinar um manejo mais

adequado que contribua para aumentar e garantir a qualidade e produtividade desse ecossistema (ANDREWS; CARRALL, 2001; TÓTOLA; CHAER, 2002).

Apesar das múltiplas definições existentes sobre qualidade do solo, atualmente ela é definida como “a capacidade do solo funcionar, dentro dos limites de um ecossistema para garantir sustentabilidade biológica, mantendo qualidade ambiental e promover a saúde animal e vegetal” (DORAN et al. 1996). Para ser considerado indicador de qualidade do solo, os atributos precisam ser sensíveis às variações de manejo e clima, de fácil mensuração, econômico e que respondam rapidamente as mudanças de manejo (DORAN; ZEISS, 2000). No entanto, esses indicadores devem refletir rapidamente nos processos biológicos, nas propriedades químicas e físicas, bem como nas suas interações (KARLEN et al. 2003).

Atualmente os indicadores de qualidade do solo podem ser classificados em físicos, químicos e biológicos (Tabela 2). Apesar da existência de uma gama de indicadores para manejo da terra mais sustentável, há alguns de extrema importância ambiental, pois podem predizer se o solo irá manter ou não sua capacidade de funcionar após um distúrbio. Logo, isso dependerá tanto da sua resistência à degradação como da sua resiliência, ou seja, da capacidade dos mesmos em recuperar-se após a degradação (HERRICK et al. 2000). Dessa forma, tais indicadores devem medir e refletir a condição ambiental e sustentabilidade dos ecossistemas (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007).

**Tabela 2.** Principais indicadores físicos, químicos e biológicos e suas relações com a qualidade do solo.

<b>Indicadores</b>	<b>Relação com a qualidade do solo</b>
Matéria orgânica do solo (MOS)	Fertilidade, estrutura e estabilidade do solo.
<b>Físico</b>	
Estrutura do Solo	Retenção e transporte de água e nutrientes
Infiltração e densidade do solo	Movimento de água e porosidade do solo
Capacidade de retenção de umidade	Armazenamento e disponibilidade de água
<b>Químicos</b>	
pH	Atividade biológica e disponibilidade de nutrientes
Condutividade elétrica	Crescimento vegetal e atividade microbiana.
Conteúdo de N, P e K	Disponibilidade de nutrientes para as plantas
<b>Biológicos</b>	
Biomassa microbiana	Atividade microbiana e reposição de nutrientes.
Mineralização de nutrientes (N, P e S)	Produtividade do solo e potencial de suprimento de nutrientes.
Respiração do solo	Atividade microbiana
Atividade enzimática do solo	Atividade microbiana e catalítica no solo

Araújo; Monteiro, 2007 (Adaptado de Doran & Parkin, 1994)

Os processos microbiológicos do solo são parâmetros que se adequam a maioria dos critérios de indicador de qualidade dos solos (DORAN; ZEISS, 2000). Sabe-se que os micro-organismos ocupam uma pequena fração (<0,5%) do volume total do solo representando menos de 10% da matéria orgânica total (DAS; VARMA, 2011). A microbiota presente no solo tem

apresentando excelente potencial bioquímico e metabólico, proporcionando respostas rápidas às alterações ambientais (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007).

Além de sensibilidade, tais micro-organismos levam a liberação de exsudatos, deixando-os prontamente disponíveis às plantas, promovendo ainda a mineralização e mobilização de poluentes e xenobióticos, tendo papel chave e crucial nos ciclos biogeoquímicos (SCHLOTTER; DILLY; MUNCH, 2003; KASCHUK; ALBERTON; HUNGRIA, 2010).

Dentre os indicadores microbiológicos estudados para determinar funcionalidade biológica dos solos, destacam-se o carbono da biomassa microbiana (DE-POLLI; GUERRA, 1997), respiração do solo (ALEF; NANNIPIERI, 1995) e atividade enzimática (BURNS, 1982).

A biomassa microbiana (BM) é definida como a fração viva da matéria orgânica do solo, constituída por micro-organismos vivos com dimensões aproximadas de 10  $\mu\text{m}$ , sendo representado principalmente por fungos e bactérias (SCHLOTTER; DILLY; MUNCH, 2003). Considerado um dos indicadores mais promissores por responder mais rapidamente às mudanças ambientais quando comparado aos parâmetros físicos e químicos (KASCHUK; ALBERTON; HUNGRIA, 2010), correspondendo de 1-5% do conteúdo total de MO nos solos (ZHANG et al. 2011).

Atividade biológica proveniente da biomassa microbiana é um importante indicador da qualidade do solo, pois auxilia na catalisação e transformações bioquímicas, participando como fonte e dreno de C, além de regular a troca de nutrientes entre o sistema solo-planta-micro-organismos (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006), sendo considerado um dos componentes chaves no solo.

Atualmente, diversos métodos podem ser utilizados para determinação do carbono da biomassa microbiana, sendo os mais comumente adotados a fumigação-incubação (JENKINSON; LADD, 1976), a irradiação-extração (ISLAM; WEIL, 1998) e a fumigação-extração (VANCE; BROOKES; JENKINSON, 1987). A fumigação-extração tem sido um dos métodos mais utilizados, pois o tempo para avaliação é reduzido quando comparado à fumigação-incubação, além disso, não há dependência do estágio fisiológico da população microbiana do solo (VANCE; BROOKES; JENKINSON, 1987). Por

isso, tem sido o mais indicado pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (ROSCOE et al. 2006).

Os fatores bióticos e abióticos são determinantes na quantificação e na composição da biomassa microbiana. Estudos têm demonstrado os efeitos da diversidade vegetal, dos sistemas de cultivos, das práticas de manejo, do clima, pH, temperatura e umidade sobre os atributos microbiológicos (ZHANG et al. 2011; VALLEJO, 2012; PAZ-FERREIRO et al. 2010; CONANT et al. 2004; WICK et al. 2000). Desta forma, as variações que ocorrem na composição da biomassa microbiana podem ser reflexos dos diferentes grupos que compõem em determinado momento e dada condição ambiental.

Apesar das funções-chaves que o C-BM possui, este não determina as atividades metabólicas dos micro-organismos do solo, sendo necessário avaliar em conjunto com outros atributos que possam determinar atividade metabólica da comunidade microbiana dos solos. Importantes variáveis podem ser derivados e utilizados em conjunto com carbono da biomassa microbiana, como por exemplo, quociente microbiano e metabólico (KASCHUK; ALBERTON; HUNGRIA, 2010), além de outros indicadores como respiração do solo e atividade enzimática, que servem para averiguar a vulnerabilidade de solos alterados.

A respiração basal do solo (RS) consiste na medida das funções metabólicas nas quais o CO<sub>2</sub> é produzido, sendo um dos parâmetros mais antigos e frequentemente utilizado para quantificar a atividade biológica no solo (KIEFT; ROSACKER, 1991). Tal atributo representa a oxidação da matéria orgânica pela microbiota aeróbia, para geração de CO<sub>2</sub>, sendo as bactérias e fungos os principais determinantes na liberação de CO<sub>2</sub> via degradação da matéria orgânica. A respiração do solo pode ser determinada por cromatografia gasosa ou eletrorespiromêtro, espectroscopia de infravermelho ou por titulação utilizando NaOH para captura do C, sendo esta última a mais comumente utilizada (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). A RS é influenciada por fatores abióticos como temperatura, umidade e disponibilidade de nutrientes no solo (REIS JUNIOR; MENDES, 2007).

Segundo Donagema et al. (2010) nem sempre uma alta taxa de respiração é um aspecto desejável, por isso, a interpretação dos seus valores

deve ser feito com cautela. A atividade respiratória elevada pode ser resultado de um grande “pool” de substratos de C lábeis, onde a decomposição da matéria orgânica é intensa, assim como da rápida oxidação de um pequeno “pool”, decorrente, por exemplo, da quebra de agregados do solo promovido pela aração, a qual expõe o material orgânico que se encontra protegido pela ação microbiana (TÓTOLA; CHAER, 2002).

A respiração microbiana reduz com o aumento da profundidade do solo indicando que atividade biológica está mais concentrada nas camadas superficiais do solo, ou seja, onde está concentrada maior quantidade de compostos orgânicos que estimulam crescimento da microbiota (PENÃ et al. 2002). Outros estudiosos também verificaram maior atividade metabólica nas camadas mais superficiais do solo, atribuindo este fato a maior disponibilidade de matéria orgânica e oferta de raízes nas camadas mais ativas do solo (COLOZZI-FILHO et al. 1999; VARGAS; SCHOLLES, 2000). Portanto, a introdução de um sistema diversificado de espécies vegetais pode contribuir para aumentar o fluxo de CO<sub>2</sub>, devido ao incremento na disponibilidade de matéria orgânica, ou diminuir por proporcionar um ambiente menos estressante para os micro-organismos e reduzir a perda de C, dessa forma a interpretação desses resultados deve ser realizada cautelosamente.

A biodiversidade nos ecossistemas, incluindo agroecossistemas, oferece uma série de funções biológicas, tais como o aumento da ciclagem de nutrientes e controle de pragas (ALTIERI, 1999). As enzimas são catalizadores de todas as reações bioquímicas envolvidas no solo, sendo essencial nos ciclos biogeoquímicos a decomposição de resíduos orgânicos, formação da matéria orgânica e estabilização da estrutura do solo, por isso são sugeridos como indicadores viáveis para avaliar os efeitos potencialmente benéficos ou prejudiciais ao solo (BASKSHI; VARMA, 2011; TÓTOLA; CHAER, 2002; KIZILKAYA; BAYARAKLI, 2005). Compreender essas relações complexas entre a diversidade genética, estruturação e dinâmica da microbiota pode ser factível através de estudos que englobem enzimas extracelulares do solo (BURNS et al. 2013). Felizmente, os estudos sobre atividade enzimáticas em ambientes agrícolas tem se expandido rapidamente nos últimos anos (BURNS et al. 2013).

No solo, as enzimas são produzidas principalmente por fungos e bactérias (AON; COLANERI, 2001; CRIQUET et al. 2004; GEISSLER; HAWATH; SCOW, 2011), sendo também metabolizadas por plantas. Existem correlações entre atividade enzimática e outros indicadores de qualidade do solo e alguns trabalhos mostram correlação positiva significativa das enzimas  $\beta$ -glucosidase e a fosfatase alcalina com o C-BM, sendo atribuído a microbiota como fonte principal destas enzimas (BOHME; BOHME 2006).

As enzimas presentes no solo podem estar relacionadas às células microbianas (enzimas intracelulares) ou não associadas (enzimas extracelulares). As intracelulares são responsáveis pela catalisação das reações intercelulares, enquanto que as extracelulares são liberadas para meio externo e atuam no exterior da célula (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). A produção destas enzimas está relacionada ao ambiente e as relações antrópicas. As enzimas são “sensores” da condição microbiana, porém para melhor compreensão é necessário o uso dos fatores físico-químicos que influenciam na atividade biológica e bioquímica do solo (AON; COLANERI, 2001). Estudos mostram que a adição de fontes de carbono e nitrogênio, levam a alterações no pH, temperatura e umidade do solo (CRIQUET et al. 2004; ALLISON; VITOUSEK, 2005; BROCKETT; PRESCOTT; GRAYSTON, 2011), os quais junto com outros fatores como a presença de certos substratos, influenciam a produção de algumas enzimas (KIZILKAYA; BAYRAKLI; 2005; UDAWATTA et al. 2009).

Quando os substratos orgânicos se encontram de forma assimilável e disponível, os micro-organismos podem reduzir a produção de enzimas que degradam compostos complexos, porém, quando este recurso é limitante, muitos organismos começam a produzir enzimas extracelulares (ALLISON; VITOUSEK, 2005), que quebram essas macromoléculas em unidades simples para liberação de energia. Além de disponibilizar fontes de energia para microbiota, estas enzimas auxiliam na decomposição e mineralização de nutrientes no solo, disponibilizando-os para plantas (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

A intensa atividade antrópica juntamente com as práticas de cultivo tem resultado na perda da biodiversidade influenciando diretamente a atividade

metabólica do solo. Waldrop et al. (2000) observaram que as diferenças na composição da comunidade microbiana ocasionados pela mudanças do uso do solo podem alterar a quantidade de enzimas produzidas por unidade de biomassa e conseqüentemente afetam o ciclo do C. Solos que apresentam comunidade microbiana similar possuem mesma atividade catabólica, porém, a depleção de C ocasionada pela formas de uso do solo podem ocasionar declínio na diversidade catabólica resultando em baixa resiliência ou decomposição microbiana mais instável (DENGENS et al. 2000).

A diversidade vegetal influencia a composição da comunidade microbiana ocasionando alterações na atividade metabólica. A alta diversidade de plantas leva a maior deposição de serapilheira e metabólitos através do exsudatos radiculares, podendo afetar positivamente a microbiota (ZHANG et al. 2011).

As enzimas mais comumente estudadas para monitorar a qualidade do solo são as hidrolases, devido às suas relações com os principais constituintes dos ciclos biogeoquímicos do C, N, P e S, sendo elas:  $\beta$ -glucosidase, urease, fosfatase e arilsulfatase respectivamente.

A  $\beta$ -glucosidase é uma enzima muito comum e predominante em solos (DAS; VARMA, 2011). Esta enzima é largamente distribuída, pois desempenha importante papel na degradação da celulose em glicose, sendo a principal fonte de energia para os micro-organismos do solo (BANDICK; DICK, 1999). Por estar envolvida no ciclo do C, solos que apresentam alta relação C/N apresentam maior atividade desta enzima (KIZILKAYA; BAYRAKLI, 2005). Baixa atividade desta enzima pode ser um indicativo de menor eficiência na mineralização da matéria orgânica (WALDROP; BALSER; FIESTARE, 2000), visto que há correlação significativa entre  $\beta$ -glucosidase e biomassa microbiana do solo. Estes autores relatam ainda que nem todos os componentes da biomassa microbiana são igualmente eficientes na mineralização dos componentes orgânicos. Além de esta enzima correlacionar-se com componentes microbianos, a mesma tem sido positivamente envolvida com as propriedades químicas e físicas do solo, teor de argila e o conteúdo de C orgânico (BANDICK; DICK, 1999; BROCKETT; PRESCOTT; GRAYSTON, 2011).

A urease é uma enzima de ampla distribuição natureza, sendo sintetizadas por uma diversidade de organismos, incluindo plantas, bactérias, algas, fungos e invertebrados (KRAJEWSKA, 2009). Esta enzima apresenta papel chave na ciclagem N e catalisa a hidrólise de ureia em CO<sub>2</sub> e amônia, tornando prontamente disponível para as plantas e micro-organismos (UBOTO; TEWARI, 2014).

Atividade da urease tem sido utilizada como indicador biológico da qualidade do solo porque é influenciada por diversos fatores que afetam atividade microbiana tais como, propriedades físico-químicas, conteúdo de matéria orgânica, tipo de vegetação e fatores ambientais como a temperatura e umidade (MARTA; CONTI, 1990; AONI; COLANERI, 2001; KIZILKAYA; BAYRAKLI; 2005; SARDANS; PEÑEULAS; ESTIARTE, 2008).

As fosfatases hidrolisam compostos de P orgânico, transformando-os em P inorgânico, os quais ficam assimiláveis pelas plantas e micro-organismos (BAKER et al. 2011; REDJEK et al. 2012). Estas enzimas podem ser produzidas por bactérias, fungos, protozoários, raízes de plantas e animais (CRIQUET et al. 2004). As enzimas hidrolíticas envolvidas no ciclo do P podem ser consideradas importantes parâmetros para análise da fertilidade do solo, uma vez que apresentam natureza heterogênea. Em sistemas agrícolas e florestais, Trasar-Cepeda et al. (2008) observaram baixa atividade das fosfatases em solos fortemente adubados com altos teores de P inorgânico disponível. Devido a sua heterogeneidade, as fosfatases (fosfomonoesterases) têm sido extensivamente estudadas em vários ecossistemas e são consideradas as mais predominantes na maioria dos tipos de solos e serapilheiras (CRIQUET; BRAUD, 2008).

De acordo com a faixa de pH ótimo, as fosfatases podem ser classificadas em ácida (pH 6,5) e alcalina (pH 11,0) (DODOR; TABATABAI, 2003), e as raízes de plantas constituem-se como a principal fonte de fosfatase ácida nos solos (CRIQUET et al. 2004), enquanto que a fosfatase alcalina é produzida por micro-organismos, não sendo produzida pelas plantas (BOHME; BOHME, 2006).

A arilsulfatase é uma enzima extracelular que tem papel na hidrólise dos ésteres de sulfato aromático para fenóis ou sulfato de enxofre (DAS; VARMA,

2011) tornando o enxofre (S) orgânico disponível às plantas pela mineralização da matéria orgânica (KANAUFF et al. 2003). Além da sua importância na ciclagem de nutrientes, esta enzima pode ser um indicativo indireto de fungos, pois apenas os fungos possuem o éster de sulfato que é o substrato da arilsulfatase (BANDICK. DICK, 1999).

## **2.5 Fungos micorrízicos arbusculares (FMA)**

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) são considerados um dos principais grupos de micro-organismos do solo, caracterizados por serem simbioses obrigatórios das plantas e associarem-se com aproximadamente 95% das espécies vegetais, ocupando diversos ecossistemas, sendo assim, considerados cosmopolitas (SIQUEIRA; LAMBAIS, 2002; SAGGIN-JÚNIOR; SILVA, 2005).

Na simbiose micorrízica ocorre uma colaboração entre plantas e fungos, com estabelecimento da colonização das hifas no córtex radicular e formação de estrutura especializada denominada arbúsculo, característico desta associação (SMITH; READ, 2008). Estes fungos habitam dois ambientes: o solo - com formação de um extenso micélio extrarradicular que auxilia na absorção dos nutrientes, e dentro da raiz - onde ocorre o crescimento inter e intracelular (SMITH; SMITH, 2011). Dessa forma, a micorrização torna-se uma estratégia adaptativa que faz com que a planta apresente maior capacidade de captar nutrientes em regiões com baixa disponibilidade (BARCA et al. 2011).

Os primeiros registros dos FMA no ambiente terrestre datam do período Ordoviciano, há 460 milhões de anos, período no qual ocorreu a conquista do ambiente terrestre pelas plantas (REDECKER et al. 2000). Os FMA possuem parede celular formada por quitina, glomerosporos, vesículas, células auxiliares e arbúsculos, sendo esta última estrutura considerada o principal sítio de troca entre os simbioses (SMITH; READ, 2008).

O funcionamento, a formação e a ocorrência da simbiose micorrízica é mediado por fatores diretos e indiretos, que podem ser bióticos e abióticos. Tais fatores incluem: o solo, a espécie vegetal, o ambiente e as práticas de manejo. Estudos têm demonstrado os efeitos da diversidade vegetal, dos

sistemas de cultivos, das práticas de manejo, do clima, pH, temperatura e umidade sobre a ocorrência e eficiência simbiótica (GUARDARRAMA et al. 2014; PAREWA et al. 2014; SOKA; RITCHIE, 2014).

A diversidade vegetal também é um fator determinante na composição e produção de propágulos de FMA, visto que maior número de esporos e riqueza de espécies de FMA ocorreu em parcela com 16 espécies vegetais quando comparado ao monocultivo (BUNOWS; PHEGER, 2002). Segundo estes autores, o aumento na propagação e riqueza de FMA pode ser atribuído à diversidade e quantidade de raízes disponibilizadas pelas plantas, bem como aumento na oferta de C para colonização.

Os FMA podem ligar as plantas vizinhas formando uma rede de hifas em comum, sendo essa interrelação dependente da combinação fungo-planta. Walder et al. (2012) verificaram que quando o sorgo (planta C4) cresceu em uma cultura mista com linho (planta C3), interligados por uma rede comum de hifas (*Glomus intraradices*), a planta C3 recebia maior aporte (80%) dos nutrientes fornecidos pelo fungo e disponibilizou pouco C para rede. Várias hipóteses vêm sendo sugeridas para tentar compreender se as comunidades de plantas são determinadas pela composição das espécies de FMA ou se comunidade micorrízica é dependente das mudanças na comunidade de plantas (ZOBEL; OPIK, 2014). A primeira hipótese sugerida por Hart et al. (2001) é chamada de “hipótese condutor” na qual busca-se saber se as comunidades de plantas são estabelecidas pelos FMA; a segunda hipótese que foi proposta pelos mesmos autores é denominada de “hipótese de passageiros” que visa compreender se as comunidades micorrízicas são dependentes das mudanças nas comunidades de plantas.

Atualmente, cerca de 270 espécies de FMA têm sido descritas ([www.mycobank.com](http://www.mycobank.com)), porém, a classificação deste grupo nos últimos tempos tem passado por diversas modificações. Gerdemann; Trappe (1974) classificaram estes fungos como pertencentes ao filo Zygomycota, ordem Endogonales, sendo constituído por uma família e quatro gêneros: Endogonaceae (*Glomus*, *Sclerocystis*, *Acaulospora* e *Gigaspora*). Em 1990, Morton; Benny propuseram a classificação baseada nas características fenotípicas e na germinação dos esporos, mantendo-os no filo Zygomycota e

agrupando os FMA em nova ordem denominada Glomales (= Glomerales), com duas novas subordens (Glomineae e Gigasporineae), três famílias e seis gêneros: Acaulosporaceae (*Acaulospora* e *Entrophospora*), Glomaceae (*Glomus* e *Sclerocystis*) e Gigasporaceae (*Gigaspora* e *Scutellospora*). Em 2001, Schüßler e colaboradores, propuseram um novo filo, Glomeromycota, proposto com base nas características genéticas (gene SSU rRNA), dividido em quatro ordens (Glomerales, Diversisporales, Paraglomerales e Archaeosporales).

Em 2011, Oehl et al. (2011) utilizando dados morfológicos e moleculares, propuseram cinco ordens (Glomerales, Gigasporales, Diversisporales, Paraglomerales e Archaeosporales), 14 famílias (Diversisporaceae, Acaulosporaceae, Sacculosporaceae, Pacisporaceae, Scutellosporaceae, Gigasporaceae, Dentiscutataceae, Racocetraceae, Entrophosporaceae= Claroideoglomeraceae, Glomeraceae, Ambisporaceae, Geosiphonaceae, Archaeosporaceae e Paraglomeraceae), e cinco novos gêneros (*Septoglomus*, *Funneliformis*, *Tricispora*, *Sacculospora* e *Albahypha*), totalizando 29 gêneros. No ano seguinte, Goto et al. (2012) propôs a criação de dois novos gêneros, *Intraornatospora* e *Paradentiscutata* e uma nova família (*Intraornatosporaceae*), com descrição de duas novas espécies: *Paradentiscutata bahiana* e *Paradentiscutata maritima*, totalizando 31 gêneros.

Em 2013 e 2014, novos gêneros foram propostos: *Bulbospora*, *Corymbiglomus*, *Dominikia*, *Kamienskia*, *Palaeospora* e *Rhizoglomus*, totalizando atualmente 38 gêneros (BLASZKOWSKI; CHWAT, 2013; BLASZKOWSKI et al. 2014; OEHL et al. 2014; SIEVERDING et al. 2014).

A ocorrência das espécies de FMA é relatada em diversos ambientes e os efeitos das práticas de manejo na abundância desses micro-organismos em áreas de pastagens foram avaliados por alguns autores. Picone (2000) registrou em áreas de pastagens maior esporulação de espécies de FMA do gênero *Glomus*, que apresentavam menor diâmetro (entre 90 e 130 µm) e pigmentação escura, enquanto que espécies com esporos de diâmetro superior a 300 µm, (e.g. *Gigaspora*) prevaleciam em áreas de florestas, sugerindo que espécies de Gigasporaceae seriam mais sensíveis ao distúrbio pela falta da estrutura de reserva de energia, como as vesículas.

Su; Guo (2007) observaram que a diversidade e riqueza de FMA eram maiores em áreas não pastejadas em comparação as áreas com pastejo pesado, com elevada abundância de espécies do gênero *Glomus* em ambas áreas da Mongólia. No sudeste do Quênia, maior abundância de esporos de FMA foi observada em área reflorestada por Eucalipto, *Cupressus lusitânica* Mill., *Pinus patula* Schiede ex Schldl. & Cham. e *Pinus radiata* D. Don (130 em 50 g de solo), seguida de pastagem com capim napier (91,5 em 50 g de solo) e área de pousio (89,7 esporos em 50 g de solo), com predominância de espécies de *Glomus* (50%) e *Acaulospora* (39,9%) (JEFWA et al. 2012).

Os FMA desempenham papel fundamental no funcionamento dos ecossistemas (KLIRONOMOS et al. 2000). Dessa forma, todos os fatores que afetam a planta e o solo têm impacto sobre a ocorrência FMA. Com base nisso, os FMA podem ser utilizados como indicadores de qualidade do solo (SCHLOTTER; DILLY; MUNCH, 2003; PAREWA et al. 2014).

## **2.6 Efeito do sombreamento e do consórcio leguminosa x gramínea sobre a comunidade microbiana**

A conscientização de que o solo é recurso vital para o funcionamento de todo ecossistema terrestre e que as práticas agrícolas afetam de forma considerável a microbiota do solo tem impulsionando o interesse para entender como tais processos afetam essas comunidades e conseqüentemente a qualidade do solo (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007; SCHLOTTER; DILLY; MUNCH, 2003).

A atividade microbiana é relatada como um atributo do solo sensível para estudos de diferentes agroecossistemas, em especial a atividade enzimática, que é rapidamente alterada em resposta as variações nas propriedades do solo (MELO et al., 2010). Assim, a atividade dos microorganismos do solo pode ser considerada um indicador de qualidade do solo (SCHLOTTER et al. 2003).

Neste sentido, o uso de indicadores biológicos de qualidade do solo pode ser recomendado para monitorar impactos promovidos pelos fenômenos naturais ou ações antrópicas, principalmente em agroecossistemas (ARSHAD

& MARTIN, 2002). Trabalhos em sistemas de áreas consorciadas e sombreadas e os efeitos sobre os indicadores de qualidade do solo, geralmente mostram efeito positivo, neutro ou negativo dessas práticas de manejo na microbiota do solo (Tabela 3).

**Tabela 3.** Principais trabalhos em áreas de pastagens, sombreadas e consorciadas e seus efeitos sobre os indicadores de qualidade do solo.

<b>Tipo de Manejo</b>	<b>Espécies Vegetais</b>	<b>Indicadores de qualidade</b>	<b>Efeitos</b>	<b>Referências</b>
<b>Sistema silviopastoril</b>	<i>Prosopis juliflora</i> Swartz D.C+ <i>Cenchrus ciliaries</i> L.	C-BM	Redução do C-BM com o sombreamento.	Wick et al. (2000)
<b>Diferentes sistemas de uso da terra</b>	<i>Ricinus communis</i> L. + <i>Sorghum bicolor</i> L. Moench	COT C-BM RS	Redução da atividade microbiana no consórcio manona e sorgo e aumento do fluxo de CO <sub>2</sub> e quociente metabólico	Portô et al. (2009)
<b>Efeito das condições de seca</b>	Sem cobertura vegetal  <i>Lolium perennem</i> + <i>Festuca arundinacea</i> + <i>Medicago sativa</i>	<i>q</i> CO <sub>2</sub> C-BM	Aumento do C-BM no consórcio entre espécies forrageiras quando em condições ótimas de umidade	Sanallah et al. (2011)
<b>Sistema agroflorestal</b>	<i>Ginkgo biloba</i> + <i>Triticum aestivum</i> + <i>Gycine max</i>	Urease Fosfatase	Aumento da atividade enzimática quando em consórcio	Wang & Cao (2011)
<b>Sistema silviopastoril intensivo (gramíneas sob a</b>	<i>Prosopis juliflora</i> (Sw.) DC + <i>Cynodon plectostachyus</i> + <i>Panicum maximum</i> var. Tanzânia e Mombaça	β-Glucosidase	O sombreamento promovido pela algaroba aumentou	Vallejo et al. (2012)

copa da espécie arbórea)	atividade enzimática			
	Fosfatase ácida			
	Urease			
<b>Sistema agroflorestal</b>	<i>Camellia sinensis</i> (L.)		Redução do C-BM quando em monocultivo	Tian et al. (2013)
	<i>Ginkgo biloba</i> L. + <i>Camellia sinensis</i> (L.)	C-BM	Aumento do C-BM quando em consórcio com a espécie arbórea	
<b>Sistema silviopastoril e monocultivo</b>	<i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu	C-BM	Redução do C-BM em monocultivo	Azar et al. (2013)
	<i>Cocos nucifera</i> + <i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu		Aumento do C-BM quando em consórcio	
<b>Culturas de café sombreado por espécies arbóreas</b>	<i>Coffea arabica</i> L		Redução do nº de glomerosporos em condições a pleno sol	Muleta et al. (2007)
	<i>Millettia ferruginea</i> (Hochst.) Baker + <i>Coffea arabica</i> L	Número de glomerosporos	Aumento no nº de glomerosporos quando em condições de sombreamento	

<b>Sistema agroflorestal e monocultivo de café</b>	<i>Coffea arabica</i> L	Número de glomerosporos	Redução do nº de glomerosporos em condições de monocultivo (40 em 100 g <sup>-1</sup> solo)	Muleta et al. (2008)
	<i>Albizia gummifera</i> + <i>Coffea arabica</i> L		Aumento do nº de glomerosporos quando em consórcio (119 em 100 g <sup>-1</sup> solo)	
<b>Sistema agroflorestal</b>	<i>A. gummifera</i> + <i>Zea mays</i>	Colonização micorrízica	Aumento no percentual da colonização micorrízica quando em consórcio	Hailemariam et al. (2013)
<b>Diminuição da alocação de C da planta para o fungo ocasionado pelo sombreamento</b>	<i>Allium vineale</i> L.	<i>Claroideoglomus candidum</i>	Redução da alocação de C da planta para fungo	Zheng et al. (2014)
<b>Efeito do regime de luz sobre a simbiose</b>	<i>Brachypodium pinnatum</i> (L.) P. B	Colonização micorrízica	Redução no percentual da colonização micorrízica e nº de	Fuzy et al. (2014)

micorrízica	e Nº de arbúsculos	arbúsculo em condição de sombreamento	
<b>Mistura de gramíneas nativas</b>	<i>Carex duriuscula</i> C.A. + <i>Bouteloua gracilis</i> Vasey + <i>Symphoricarpos occidentalis</i> R.Br	Identificação das espécies de FMA	Aumento na riqueza de espécies de FMA  Hiiesalu et al. (2014)
<b>Influência da intensidade de luz nos FMA associados a raízes</b>	<i>Ligularia virgaurea</i> (Maxim.) Mattf. ex Rehder & Kobuski	Avaliação da comunidade de FMA	Redução na abundância de <i>Diversispora eburnea</i> (= <i>Glomus eburneum</i> ) em 75% de intensidade de luz  Shi et al. (2014)
<b>Resposta dos FMA para o aumento da diversidade de plantas</b>	<i>Achillea millefolium</i> L.; <i>Agropyron smithii</i> Rydb.; <i>Amorpha canescens</i> Pursh.; <i>Andropogon gerardii</i> Vit.; <i>Asclepias tuberosa</i> L.; <i>Bouteloua gracilis</i> (HBK.); <i>Dalea purpureum</i> Venten; <i>Dalea candida</i> Michx. White; <i>Dalea villosum</i> Nutt. Silky; <i>Elymus canadensis</i> L.; <i>Koeleria cristata</i> (Lam.) P. Beauv.; <i>Lespedeza capitata</i> Michx.; <i>Liatris aspera</i> Michx.  <i>Lupinus perennis</i> L.; <i>Monarda fistulosa</i> L. Wild.; <i>Panicum virgatum</i> L.; <i>Poa pratensis</i> L. Kentucky; <i>Schizachyrium scoparium</i> (Michx.); <i>Solidago nemoralis</i> Aiton. Gray.  <i>Sorghastrum nutans</i> [L.] Nash	Identificação das espécies de FMA em condições de monocultivo e quando em consórcio com 2, 8 e 16 espécies de plantas	Espécies pertencentes à <i>Gigaspora</i> e <i>Scutellospora</i> aumentaram com o aumento na diversidade de plantas  Burrows & Pflieger (2006)

C-BM: carbono da biomassa microbiana; RS: Respiração do solo;  $q_{Mic}$ : quociente microbiano;  $q_{CO_2}$ : quociente metabólico; FMA: Fungos micorrízicos arbusculares.

Os diferentes sistemas de manejo podem influenciar na atividade enzimática, sendo importante conhecer o efeito dessas práticas na atividade enzimática do solo (LISBOA et al. 2012). Enzimas como a  $\beta$ -glucosidase que têm papel importante no monitoramento e na qualidade biológica do solo em áreas de pastagens, por participarem do ciclo da matéria orgânica (TURNER et al. 2002) devem ser investigadas. Outra enzima importante é a urease, que participa da hidrólise da ureia e dos processos de perdas do N e regulação para as plantas, sendo muito sensível em ambientes com elevada temperatura (MOYO et al. 1989).

O sistema de consórcio com árvores em sistemas silvipastoris proporciona o sombreamento pela copa, de forma a aumentar a atividade da  $\beta$ -glucosidase, fosfatase e urease (VALLEJO et al. 2012). Avaliando o efeito da seca sobre a atividade enzimática na rizosfera de gramíneas, Sanaullah et al. (2011) encontraram maior atividade da  $\beta$ -glucosidase em área com cultivo consorciado de plantas (*Lolium perennem* L., *Festuca arundinacea* Schreb. e *Medicago sativa* L.) quando comparado a monocultura, em condições ótimas de umidade. Similarmente, Paudel et al. (2011) encontraram em sistemas agroflorestais+tampão de gramínea e vegetações perenes maior atividade da  $\beta$ -glucosidase quando comparado a culturas de linhas, com *Zea mays* L. e *Glycine max* L., atribuindo este resultado ao aumento no acúmulo de C orgânico e maior atividade da raízes.

Na China, em uma região de clima subtropical úmido, Tian et al. (2013) compararam as propriedades microbiológicas de um sistema agroflorestal de *Ginkgo biloba* L. + *Camellia sinensis* (L.) e *C. sinensis* em monocultivo, observaram maior C-BM, RS e atividade enzimática no sistema agroflorestal em relação ao monocultivo, sugerindo que essa prática de manejo melhora a qualidade do solo. O consórcio de *Ginkgo* em cinco sistemas de plantios demonstrou que adoção desse sistema promoveu aumento, a longo prazo, da fertilidade do solo e atividade enzimática (WANG; CAO, 2011). No Piauí, Azar et al. (2013) avaliando a biomassa e atividade microbiana do solo sob pastagem de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em monocultivo e em sistema silvipastoril formado por pasto e *Cocos nucifera* L., constataram que o sistema silvipastoril favorece o C-BM, respiração do solo,  $qCO_2$  e carbono orgânico em

relação ao pasto não consorciado, atribuindo este resultado ao microclima formado pela copa do coqueiro e a presença de composto orgânico proporcionado pelo sistema.

Sabendo-se dos benefícios que a introdução de leguminosas traz ao sistema de consórcio devido à melhoria na fertilidade do solo, a inclusão dessas espécies em condições semiáridas pode trazer benefícios à comunidade microbiana do solo. O cultivo em consórcio de trigo e feijão mungo, em regiões semiáridas, resultou em maiores conteúdos de carbono, nitrogênio e fósforo da biomassa microbiana e atividade enzimática quando comparado ao consórcio trigo+milho (ULLAH et al. 2013), sendo sugerido pelos autores a introdução de leguminosas para manter a produtividade e qualidade dos solos.

O sombreamento, seja ele de forma natural ou artificial, promove algumas modificações microclimáticas e principalmente na fertilidade do solo. No semiárido brasileiro, a temperatura do ar e do solo em área sob a copa de *Ziziphus joazeiro* Mart. eram, respectivamente 2 e 16 °C, mais baixas do que em áreas de pastagem com capim buffel a pleno sol, registrando-se ainda, maior média de N mineralizado (MENEZES et al. 2002). Além de influenciar nas propriedades químicas do solo, a atividade microbiana pode ser afetada pela redução na disponibilidade de luz. Wick et al. (2000) observaram que pastagens de capim buffel consorciadas e sob a copa de plantas de *Prosopis juliflora* Swartz D.C, apresentavam menor C-BM (106 mg kg<sup>-1</sup> C-microbiano) em relação à área de caatinga nativa (156 mg kg<sup>-1</sup>) e arbóreas nativas (167 e 131 mg kg<sup>-1</sup> C-microbiano), em Custódia-PE, região semiárida do nordeste do Brasil.

Áreas a pleno sol, podem elevar as perdas CO<sub>2</sub>, como constatado por Kaur et al. (2010) os quais observaram maior respiração basal do solo (em áreas de pastagens de *Cenchrus ciliaris*, no semiárido da Austrália), a medida que a temperatura do solo aumentava, sugerindo que as interações entre temperatura e outros fatores ambientais afetam as taxas de respiração em climas semiáridos.

Os FMA são componentes importantes para o estabelecimento de muitas plantas, e o carbono obtido provém dos fotossíntatos, como a hexose e

glicose, disponibilizados pela planta, a qual é dependente da energia da luz solar para realizar a fotossíntese. Entretanto, alocação de C e o fornecimento de P para planta pode ser determinado pelo sombreamento. Zheng et al. (2014) testando absorção de P e alocação de C em regimes de luz, observaram que o total de C alocado para *Claroideoglossum candidum* (Furrazola, Kaonongbua & Bever) Oehl, G.A. Silva & Sieverd. diminuiu com o sombreamento, ao passo que a proporção de C fornecido para *Gigaspora margarita* W.N Becker & I.R. Hall não alterou em relação a intensidade de luz.

O aumento na intensidade de luz correlacionou-se positivamente com a colonização micorrízica (CM) e a esporulação de *Rhizophagus fasciculatus* (Thaxt.) C. Walker & A. Schüßler (= *Glomus fasciculatus*), sendo que a partir de 55% de sombreamento houve redução na colonização micorrízica em plantas de *Sorghum vulgare* Pers. var. sudanense (FERGUSON; MENGE 1982). Da mesma forma, plantas de *Tabebuia avellanedae* Lorentz ex. Griseb. cultivadas sob 30% de sombreamento apresentaram maior CM do que as mantidas sob 96% de sombreamento, sendo esta redução atribuída ao menor repasse de fotossíntatos da planta para o fungo (MORATELLI et al. 2007).

Entretanto, a colonização das raízes de *Zea mays* L. por FMA era maior quando as plantas eram sombreadas pela copa das árvores de *A. gummifera* (J.F. Gmel.) e *C. macrostachyus* (Hochst Ex Del.) do que as cultivadas a pleno sol (HEILEMARIAM et al. 2013). Em condições a pleno sol e meia sombra sob arbustos (33% intensidade de luz) não foram detectadas a presença de arbúsculo em raízes de *Bhachypodium pinnatum* (L.), porém, em condições de sombreamento total (3 – 4% de intensidade de luz) menos de 5% das raízes apresentaram arbúsculos (FUZY et al. 2014). Segundo estes autores, o sombreamento torna os fotossíntatos limitantes, de forma que a planta não seja capaz de suportar a simbiose e reduza o fornecimento de C para garantir sua sobrevivência.

Além do efeito sobre a colonização micorrízica, estudos tem demonstrado a influencia do sombreamento em sistemas agroflorestais sobre o número de esporos. Na Etiópia, Muleta et al. (2007) encontraram maior número de esporos de FMA na rizosfera de cafeeiros sob sombra de árvores leguminosas em comparação a árvores de sombra não leguminosas. Mais tarde, Muleta et

al. (2008) verificaram maior número de glomerosporos em sistemas agroflorestais de café em comparação a monocultura e maior população nas camadas mais superficiais do solo (0-30 cm). No entanto, o efeito do sombreamento e consórcio sobre abundância e diversidade dos FMA em regiões tropicais pode variar de efeito positivo, neutro a negativo, sendo sugerido que o local e clima da região de estudo, as técnicas de cultivos e principalmente as combinações de árvores utilizados nesse sistema são responsáveis pela variação de resultado (BAINARD et al. 2011).

A ocorrência das espécies de FMA é relatada em diversos ambientes e os efeitos das práticas de manejo na diversidade desses micro-organismos em áreas de pastagens foram realizados por alguns autores. Avaliando as relações de riqueza entre as espécies de FMA e de plantas em área de pastagem nativa na América do Norte, Hiiesalu et al. (2014) encontraram correlação positiva entre os FMA e riqueza de plantas em pastagens naturais. Ressalta-se que o sombreamento foi mais determinante do que a fertilidade do solo para a abundância de *Diversispora eburnea* (= *Glomus eburneum* L.J. Keen., J.C. Stutz & J.B. Morton) (SHI et al. 2014).

A fim de determinar o efeito da diversidade de plantas sobre a produção de esporos e composição das espécies de FMA, Burrows; Pflieger (2006) encontraram menor ocorrência de esporos de *Paraglomus* sp. e *Rhizoglomus intraradices* (= *Glomus intraradices*) em monocultivo quando comparado a parcelas com maior diversidade de plantas. Dessa forma, a introdução de diferentes espécies de plantas em pastagens pode levar a mudanças na ocorrência de espécies de FMA, e assim, poderia induzir alterações na composição da comunidade vegetal (XINFENG et al. 2013).

A utilização de ferramentas biotecnológicas pode auxiliar na redução de fertilizantes químicos que oneram a produção e podem impactar o solo. Segundo Santos et al. (2002), os FMA auxiliam na redução do uso de fertilizantes nitrogenados e fosfatados, em função da maior eficiência em absorção desses nutrientes pelas plantas, em especial em sistemas de consórcio gramínea e leguminosas. Em geral, o cultivo com diferentes espécies de plantas em sistemas agroflorestais permite maior diversidade e/ou

abundância de FMA quando comparado a monoculturas (CARDOSO; KUYPER, 2006).

Aumento na produção de matéria seca nas plantas de amendoim forrageiros consorciado com *Brachiaria decumbens* foi obtido com a inoculação com *Rhizoglyphus clarum* (T.H. Nicolson & N.C Schenck) Sieverd., G.A. Silva & Oehl (= *Glomus clarum*) (MIRANDA et al. 2008). Incremento na participação do estímulos na matéria seca total do consórcio devido à inoculação com *Rhizoglyphus clarum* em solo cultivado com capim andropogon e estímulos cultivado em consórcio também foi relatado por Carneiro et al. (2011).

Além de melhorar a performance da planta, os FMA podem reduzir os efeitos de competição entre plantas quando cultivadas em sistema de consórcio, por propiciarem melhor aquisição de nutrientes para ambas (CRUZ; MARTINS, 1998). No entanto, Kabli et al. (2014) avaliando a capacidade competitiva entre gramíneas de estação quente e fria em consórcio com alfafa e trevo-roxo e inoculadas com duas espécies de *Glomus*, observaram que os FMA e leguminosas fixadoras de nitrogênio promoveram maior produtividade e maior eficiência no uso de N e P em gramíneas de estações quente quando comparado as de estações frias.

Considerando o papel da comunidade microbiana para manutenção do equilíbrio do solo, é de grande importância avaliar de que forma o sombreamento e o consórcio de leguminosa com gramínea (*Cenchrus ciliaris* L.) influenciará a atividade microbiana de forma que essas informações possam subsidiar práticas de manejo mais adequados para o semiárido.

## ARTIGO 1

---

**Carbono da biomassa microbiana e atividade enzimática em pastagem  
consorciada e sombreada sob condições semiáridas**

## RESUMO

O sistema baseado no consórcio entre leguminosas e gramíneas tem sido uma das alternativas sugeridas para garantir a sustentabilidade das pastagens, porém poucos estudos enfatizam o impacto desta prática sobre os indicadores de qualidade do solo. Objetivou-se neste trabalho avaliar as mudanças causadas pelo sombreamento e consórcio entre leguminosa (*Clitoria ternatea* L.) e gramínea (*Cenchrus ciliaris* L.) sobre os atributos microbiológicos e bioquímicos do solo. Amostras de solo foram coletadas durante quatro períodos: antes do estabelecimento do consórcio, 120, 165 e 210 dias de cultivo, em quatro níveis de sombreamento 0 (a pleno sol), 26, 39 e 55%. Antes do estabelecimento do consórcio, o sombreamento afetou os parâmetros biológicos e bioquímicos aumentando o carbono da biomassa microbiana, porém reduzindo a respiração edáfica, resultando em redução do  $q\text{CO}_2$ . A partir de 120 dias de cultivo da leguminosa, houve aumento do carbono da biomassa microbiana e da  $\beta$ -glucosidase no tratamento consorciado e sombreado a 39%; enquanto que em monocultivo o incremento do carbono da biomassa microbiana somente foi alcançado em 55% de sombreamento. Os maiores fluxos de  $\text{CO}_2$  pela respiração do solo foram observados nas áreas consorciadas e nos sombreamentos em 0, 26 e 39%, após 120 dias de cultivo. O sistema de consórcio e os maiores níveis de sombreamento reduziram o  $q\text{CO}_2$  em todos os períodos avaliados. A maior atividade da urease no solo ocorreu nas áreas consorciadas e a pleno sol, independente do período de coleta; enquanto que a fosfatase ácida somente foi influenciada pelo sistema de consórcio a partir dos 165 dias, com maior atividade nas áreas consorciadas. A partir da análise multivariada foi possível constatar que os efeitos do consórcio são claramente detectados aos 165 dias de cultivo com a formação de dois grupos distintos, com aumento da qualidade biológica nas áreas consorciadas. Conclui-se que a inclusão da *C. ternatea* em pastagem de *C. ciliaris* promove melhorias nos indicadores de qualidade do solo sob condições semiáridas. No entanto, algumas propriedades bioquímicas são mais sensíveis aos níveis de sombreamento do que ao consórcio.

Palavras-chave: luminosidade, atividade microbiana, capim buffel, atividade enzimática, cunhã

## Introdução

As pastagens ocupam aproximadamente 190 milhões de hectares no Brasil, com vários tipos de sistema de cultivo (Kaschuk et al. 2010). Dentre os sistemas, o uso de leguminosas com gramíneas forrageiras tem grande potencial para reincorporação dessas áreas ao sistema produtivo. A vantagem do sistema de consórcio baseia-se no fornecimento, de forma indireta ou direta, do N fixado pelas leguminosas para as gramíneas, aumentando a produtividade e reduzindo custos com a aplicação de fertilizantes nitrogenados, de forma a ampliar a vida útil da pastagem em relação aos sistemas convencionais (Barcellos et al. 2008).

As leguminosas, de maneira geral, apresentam-se como plantas excelentes ao cultivo misto com gramíneas, trazendo benefícios na produção e qualidade das pastagens. Dentre as leguminosas destaca-se a cunhã (*Clitoria ternatea* L.), que apresenta alta palatabilidade, 18-24% de proteína bruta e digestibilidade da matéria seca entre 60-70% (Gomes e Kalamani, 2003), características essas importantes à oferta de alimentos na produção animal. Uma das gramíneas utilizadas nas pastagens do semiárido brasileiro é o capim buffel (*Cenchrus ciliaris* L.), tolerante a longos períodos de estiagem em decorrência da sua elevada eficiência no uso da água, aceitabilidade e valor nutritivo, destacando-se pelo potencial forrageiro em pastagens no Brasil, principalmente em regiões com baixa disponibilidade de água (Arriaga et al. 2004; Medeiros e Dubeux Jr, 2008). Estudos realizados em regiões semiáridas tem mostrado o sucesso no estabelecimento do consórcio baseado em árvores com capim buffel através da melhoria na qualidade desta forrageira, principalmente no maior acúmulo de proteína bruta, carboidratos e nutrientes, quando comparada ao monocultivo (Mirsha et al. 2010; Ribaski e Menezes, 2002). Desta forma, a introdução de espécies arbóreas em sistemas silvipastoris tem sido proposta como forma de aumentar o sequestro de C e reduzir os gases do efeito estufa (N<sub>2</sub>O), além de promover o enriquecimento do solo, a conservação da biodiversidade e a qualidade da água (Thevathasan e Gordon, 2004; José, 2009).

Salienta-se que o emprego desse sistema causa o sombreamento da área, trazendo modificações microclimáticas, na fertilidade do solo (Menezes et al. 2002) e atuando sobre a resposta fisiológica das plantas. No semiárido da Austrália, o sombreamento promovido por espécies arbóreas em áreas de pastagens aumentou o conteúdo de água no solo quando comparado a pastos expostos a sol e vento (Anderson

et al. 1988). Por outro lado, o sistema de consórcio pode trazer maior competição por nutrientes entre árvores e culturas agrícolas, água e principalmente por luz, sendo as plantas C4 mais sensíveis ao sombreamento em relação às leguminosas, fato que pode ocasionar impacto direto sobre a microbiota do solo (Bainard et al. 2011).

O uso de agroecossistemas sustentáveis tem como principal objetivo a manutenção e melhoria da qualidade do solo, que pode ser avaliada por meio de modificações nas propriedades físicas, químicas e microbiológicas. Os parâmetros microbiológicos do solo são bastante sensíveis e servem como indicadores de qualidade para áreas em distúrbios (Doran e Zeiss, 2000; Burs et al. 2013). Os principais indicadores biológicos avaliados são a biomassa microbiana, que constitui a fração viva da matéria orgânica do solo (Schloter et al., 2003); a respiração basal do solo, que consiste na medida das funções metabólicas nas quais o CO<sub>2</sub> é produzido e que pode indicar tanto estresse ecológico como alto nível de produtividade do ecossistema (Islam e Weil, 2000) e a atividade de enzimas, consideradas “sensores” do status microbiano e das condições físico-químicas do solo (Aon e Colaneri, 2001).

Neste contexto, Tian et al. (2013) observaram que o sistema de consórcio *Ginkgo biloba* e *Camellia sinensis* aumentou o carbono da biomassa microbiana (C-BM). Entretanto, no semiárido pernambucano, foi constatada redução do C-BM no consórcio *C. ciliaris* e *Prosopis juliflora* (Sw) DC. (Wick et al. 2000). Recentemente, Azar et al. (2013) constataram maior respiração do solo em áreas sob sistema silvipastoril, quando comparado à pastagem em monocultivo. Tais resultados demonstram a necessidade de conhecermos como as diferentes composições de consórcio podem afetar os parâmetros biológicos do solo e prever os benefícios de sua implantação nos sistemas de pastagem.

Em relação aos efeitos do consórcio sobre a atividade enzimática, estudos mostraram que áreas de pastagens consorciadas com espécies arbóreas promoveram aumento na atividade de algumas enzimas, como  $\beta$ -glucosidase (Sanaullah et al. 2011), fosfatase ácida (Vallejo et al. 2012) e urease (Wang e Cao, 2011). No entanto, pouco se conhece sobre a dinâmica das populações microbianas sob pastagens e sobre impactos dos sistemas integrados entre leguminosas e gramíneas nos processos microbiológicos desses solos, principalmente em regiões semiáridas.

No presente estudo, testou-se a hipótese de que a utilização de diferentes níveis de sombreamento pode promover modificações microclimáticas favoráveis aos

indicadores de qualidade do solo e que a introdução da leguminosa (cunhã) promove melhorias nos parâmetros microbiológicos em área de pastagem com capim buffel irrigado no semiárido.

## Material e Métodos

### Local de estudo

O estudo foi desenvolvido no *Campus* Experimental da Universidade Federal do Vale do São Francisco, Petrolina, Pernambuco, NE do Brasil (09°09'S, 40°22'W). A área experimental localiza-se em região semiárida, que apresenta precipitação média anual de 347,8 mm, temperatura média do ar 27,1 °C e umidade relativa média de 57%. Valores de temperaturas mínimas e máximas e precipitações pluviométricas do ar e temperatura e umidade do solo durante os períodos de coleta estão ilustradas na Figura 1 e 2.

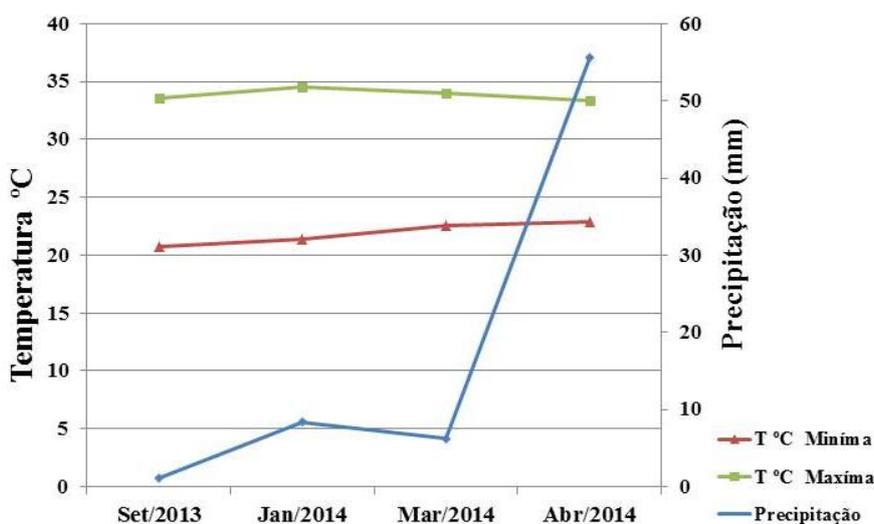
O pasto foi cultivado durante oito anos com *Cenchrus ciliaris* L. cv. Bioela (capim buffel), sem nenhum manejo cultural, e encontrava-se em pousio. Em 2011 foram instalados os tratamentos de sombreamento, que consistiram em quatro níveis diferentes (0, 26, 39 e 55%). Para o sombreamento artificial, foram utilizadas telas tipo sombrite e rafia com interceptações de radiação de 26, 39 e 55%, correspondendo a 1150, 950 e 700  $\mu\text{mol}$  de fóton/ $\text{m}^2/\text{s}$ , aferidos com o equipamento Quanta Meter (Li-Cor, USA), em cinco pontos de cada área experimental, entre o dossel das plantas e a tela. As telas foram fixadas em estrutura de madeira, a uma altura de 1,80 m a partir do solo, seguindo a orientação leste/oeste, e distância de 4,0 metros entre elas, com as seguintes dimensões: 6,0 metros de largura por 30,0 metros de comprimento, divididas em três parcelas de 10,0 metros que correspondiam aos blocos. Em 2013, foi realizado um corte de uniformização no pasto a 5,0 cm do nível do solo e aplicada adubação mineral.

O cálculo para adubação mineral foi realizada após análise química das amostras de solo coletadas antes da implantação do sistema de consórcio, consistindo de aplicação de 278 kg/ha de fósforo ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) na forma de superfosfato simples, 166 kg/ha nitrogênio na forma de ureia  $[(\text{NH}_2)_2\text{CO}]$ , 67 kg/ha de potássio na forma de cloreto de

potássio (KCl) e 30 kg/ha de micronutrientes (FTE) composto de 2,5% de boro (B), 7,5% de cobre (Cu), 12% de Manganês (Mn), 5% de zinco (Zn) e 6% de Ferro (Fe).

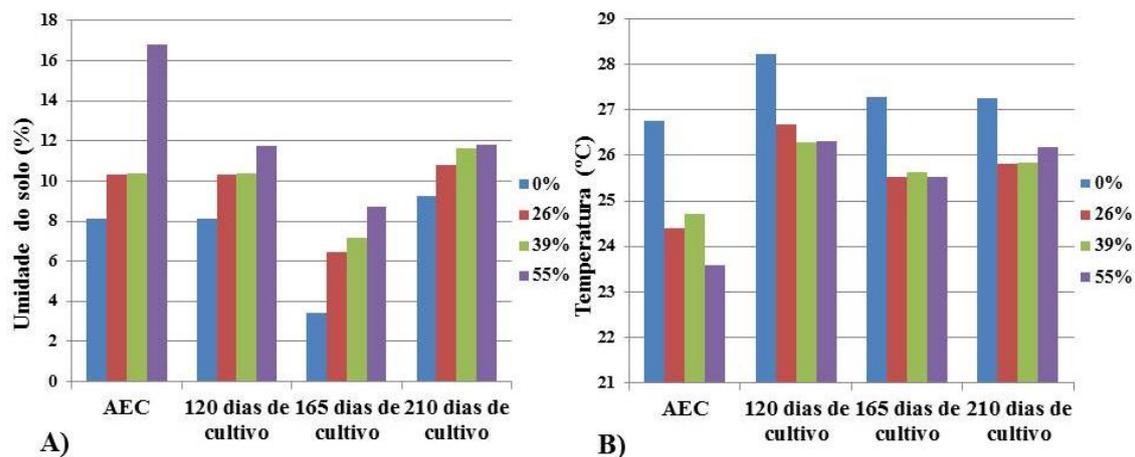
O manejo da irrigação da área experimental foi por microaspersão, com microaspersores, dispostos em duas linhas distantes 3,0 metros entre si, e com distância de 4,0 metros entre os microaspersores na mesma linha, cuja vazão média era de 73,8 litros/hora. A irrigação foi realizada diariamente durante duas horas, determinada através do seguinte cálculo:  $TI = ET_o / E_A \cdot I_A$ , onde TI = tempo de irrigação (h);  $ET_o$  = evapotranspiração média diária do mês considerado (mm);  $E_A$  = eficiência da irrigação (considerando 80%);  $I_A$  = intensidade de aplicação do microaspersor (mm/h) e  $I_a$  = vazão média/área irrigada); estabelecendo-se a aplicação de uma lâmina d'água de 183 milímetros por ciclo

O delineamento experimental foi em blocos casualizados em parcelas subdivididas, sendo a parcela o nível de sombreamento e as subparcelas o consórcio, com três repetições. As subparcelas eram constituídas de consórcio de *C. ciliaris* (capim buffel) combinado com a leguminosa *C. ternatea* (cunhã) e monocultivo do capim buffel. Cada subparcela apresentava as seguintes dimensões: 3,5 m de largura e 4,0 m de comprimento, com espaçamento entre plantas e linhas para leguminosa de 0,25 m, onde foram colocados por parcela 195 covas com três sementes da cunhã.



Fonte: Estação Agrometeorológica do Bebedouro-Embrapa semiárido

**Figura 1.** Precipitações pluviométricas médias e temperaturas mínima e máxima no período de setembro de 2013 a abril de 2014, Petrolina-PE.



**Figura 2.** Umidade do solo (%) (A) e temperatura do solo (°C) (B) na rizosfera de plantas de *Cenchrus ciliaris* L. consorciadas ou não com *Clitoria ternatea* L. em diferentes níveis de sombreamento e períodos de coleta.

### Análise das propriedades físico-químicas do solo

As análises químicas do solo foram realizadas no Laboratório de Análise de Solo, SOLOAGRI, no Município de Petrolina-PE, sendo classificado com um solo do tipo arenoso, apresentando 83,54% de areia, 8,41% de argila e 8,04% de silte. Para determinar os teores de P, K e Na os mesmos foram extraídos com o extrator Mehlich-1 e  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  com KCL 1,0 N. O pH do solo foi determinado em solução de solo: água (1:2,5 v/v) e os teores de carbono (C) e matéria orgânica (MO) foram mensurados pelo método de Walkley-Black (Nelson e Sommers, 1996). A condutividade elétrica (C.E) foi obtida pela pasta de saturação e leituras da C.E em extrato de saturação. A capacidade de troca catiônica total (CTC) foi calculada como o somatório entre a soma de bases ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ) e a acidez potencial ( $\text{H}^+$   $\text{Al}^{3+}$ ).

A temperatura do solo foi mensurada no momento da coleta utilizando um termômetro de solo modelo SOLOTERM 1200 com sonda acoplada. A umidade do solo foi determinada gravimetricamente após secagem de 30 g de solo em estufa (105 °C/24h) e os valores expressos em percentual de umidade presente no solo (Debosz et al. 1999).

### Coletas das amostras de solo

As coletas foram realizadas em setembro de 2013 e janeiro, março e abril de 2014, em quatro momentos, correspondendo aos períodos: antes do estabelecimento do

consórcio e aos 120, 165 e 210 dias após o estabelecimento do consórcio, respectivamente. Para cada tratamento foram coletadas, dentro da subparcela, cinco amostras simples na camada de 0-10 cm para constituir uma amostra composta. As amostras de solo destinadas para as análises bioquímicas e microbiológicas foram armazenadas a 4 °C para preservar a atividade biológica e avaliadas no máximo uma semana após a coleta.

### **Indicadores microbiológicos do solo**

O carbono da biomassa microbiana (C-BM) foi determinado utilizando o método de fumigação-extração com clorofórmio de acordo com Vance et al. (1987) modificado por De-Polli e Guerra (1997). Amostras fumigadas e não fumigadas foram submetidas à extração com  $K_2SO_4$  (0,5 M) e a quantificação do C-BM obtida por titulação com sulfato ferroso amoniacal (0,033 N) e os resultados foram expressos em  $\mu g$  de C  $g^{-1}$  solo. Foi utilizado o fator de correção Kc de 0,38 (Vance et al. 1987). A respiração basal do solo ( $CO_2 \mu g^{-1} \text{ solo} \cdot \text{dia}^{-1}$ ) foi determinada incubando-se o solo em frasco rosqueável com 25 mL de NaOH (0,05 N) por três dias e o  $CO_2$  foi quantificado por titulação com HCl (0,01 N) (Alef e Nannipieri, 1995). O quociente metabólico ( $qCO_2 - \mu g CO_2 \mu g \text{ Biomassa}^{-1} d^{-1}$ ) foi determinado pela razão entre o carbono do  $CO_2$  liberado e a C-BM (Anderson e Domsch, 1985).

As atividades da fosfatase ácida (Tabatabai e Bremmer, 1969) e  $\beta$ -glucosidase (Eivazi e Tabatabai, 1988) foram estimadas pela quantificação colorimétrica do  $p$ -nitrofenol resultante da ação das enzimas com os substratos específicos ( $p$ -nitrofenilfosfato,  $p$ -nitrofenil- $\beta$ -D-glicosídeo). A atividade das enzimas foi avaliada a 37 °C por 1h. O  $p$ -nitrofenol liberado foi extraído por filtração e determinado colorimetricamente a 420 e 410 nm, respectivamente. A atividade da urease foi determinada como descrito por Kandeler e Gerber (1988) modificado por Lanna et al. (2009) e os resultados expressos em  $\mu g N-NH_4^+ g^{-1} 2h^{-1}$ . A atividade enzimática foi determinada em triplicatas, com um controle, ao qual o substrato foi adicionado após a incubação.

## **Análise estatística**

Os dados das variáveis físico-químicas e biológicas foram avaliados por análise de variância (ANOVA) utilizando o *software* ASSISTAT. Diferenças estatísticas entre as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Análises multivariadas foram aplicadas para avaliar o efeito do sombreamento e do consórcio sobre as propriedades biológicas do solo de pastagem de capim buffel, consorciada ou não com a cunhã. As propriedades químicas, físicas e biológicas do solo foram ordenadas usando o escalonamento multidimensional não métrico (NMS) (Kruskal, 1964) e a distância de Sørensen. Uma matriz secundária foi usada para correlacionar as variáveis químicas, físicas e biológicas do solo [temperatura, umidade, pH, fósforo (P), magnésio (Mg), sódio (Na), potássio (K), saturação por base (Sb), CTC, carbono da biomassa microbiana, respiração basal do solo e atividade enzimática] com a matriz primária, visando verificar as relações entre as variáveis analisadas em função da introdução da leguminosa e dos níveis de sombreamento. Antes da ordenação, foi realizada a relativização dos dados da matriz primária (dados microbiológicos) na coluna para padronizar a escala das diferentes variáveis. Diferenças estatísticas dos parâmetros microbiológicos entre os tempos amostrais foram testadas usando o procedimento de permutação de multirrespostas (MRPP, Mielke e Berry, 2000) com base na distância de Sørensen. As análises multivariadas (NMS e MRPP) foram realizadas com auxílio do programa PC-ORD versão 6.0 (McCune e Mefford, 2011). Os níveis de sombreamento e o consórcio foram comparados e a significância da diferença entre os parâmetros biológicos e físico-químicos analisados pelo MRPP. Para o teste de comparações múltiplas foi utilizada a correção de Bonferroni, onde o valor de  $p$  foi corrigido para 0,008 ( $p < 0,008$ ).

## **Resultados**

### *Efeito do sombreamento e consórcio sobre as propriedades químicas e físicas do solo (análise univariada)*

Antes do estabelecimento do consórcio, os diferentes níveis de sombreamento influenciaram somente o teor de matéria orgânica (MO) e o carbono do solo (C), com maiores valores dessas variáveis observados em 39% de sombreamento (Tabela 1).

Após 120 dias de cultivo consorciado, houve efeito do sombreamento na condutividade elétrica (CE), fósforo (P), sódio (Na), cálcio (Ca), o magnésio (Mg), saturação por base (SB) e a capacidade de troca catiônica (CTC) do solo. De modo geral, essas variáveis apresentaram maiores valores nas parcelas à pleno sol (0% de sombreamento) quando comparados aos maiores níveis de sombreamento (Tabela 1).

Mudanças nos valores de pH foram detectadas aos 165 dias de cultivo, com redução de pH decorrência do aumento de sombreamento. Após 210 dias de cultivo consorciado, houve oscilação nos valores de pH e os valores de CE, Na, Ca e SB, que apresentaram maiores valores em 0% de sombreamento (Tabela 1). Com relação aos teores de C do solo, maiores valores foram observados em 55% de sombreamento aos 165 dias de cultivo da leguminosa (Tabela 1).

**Tabela 1.** Caracterização química do solo, considerando os períodos de coleta e os níveis de sombreamento, em pastagens de *Cenchrus ciliaris* L. consorciadas ou não com plantas de *Clitoria ternatea* L.

Níveis de sombreamento	pH	CE	MO	P	Na	Ca	Mg	CTC	SB	C
		dS/m	%	mg/dm <sup>3</sup>	cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>			(V%)	%	
<b>AEC</b>										
<b>0%</b>	6,3 a	0,43 a	2,19 b	17,04 a	0,08 a	3,63 a	1,55 a	7,13 a	5,64 a	1,27 b
<b>26%</b>	6,2 a	0,36 a	2,12 b	15,23 a	0,07 a	3,12 a	1,30 a	6,37 a	4,80 a	1,23 b
<b>39%</b>	6,1 a	0,38 a	2,42 a	25,82 a	0,07 a	3,18 a	1,27 a	6,50 a	4,80 a	1,40 a
<b>55%</b>	6,0 a	0,38 a	2,20 b	15,98 a	0,06 a	2,90 a	1,32 a	6,86 a	4,74 a	1,27 b
<b>120 dias de cultivo</b>										
<b>0%</b>	5,9 a	0,40 a	2,26 a	33,90 a	0,10 a	4,05 a	1,55 a	7,14 a	5,87 a	1,34 a
<b>26%</b>	6,2 a	0,35 ab	2,08 a	19,16 ab	0,07 ab	3,23 b	1,27 ab	6,47 ab	4,90 b	1,22 a
<b>39%</b>	6,1 a	0,33 b	2,19 a	20,72 ab	0,06 b	3,17 b	1,25 ab	6,37 ab	4,58 b	1,27 a
<b>55%</b>	6,2 a	0,30 b	2,25 a	15,42 b	0,05 b	2,92 b	1,12 b	5,85 b	4,20 b	1,30 a
<b>165 dias de cultivo</b>										
<b>0%</b>	6,3 a	0,38 a	2,43 a	37,42 a	0,08 a	4,05 a	2,23 a	8,03 a	6,58 a	1,15 b
<b>26%</b>	5,9 ab	0,48 a	1,98 a	28,54 a	0,07 a	3,33 a	1,20 a	6,76 a	4,81 a	1,27 ab
<b>39%</b>	5,8 ab	0,42 a	2,26 a	24,71 a	0,05 a	3,17 a	1,08 a	6,79 a	4,48 a	1,44 a
<b>55%</b>	5,6 b	0,42 a	2,19 a	35,02 a	0,08 a	3,13 a	1,00 a	6,40 a	4,39 a	1,41 a
<b>210 dias de cultivo</b>										
<b>0%</b>	5,7 a	0,63 a	2,40 a	58,94 a	0,07 a	4,00 a	1,12 a	7,55 a	5,41 a	1,39 a
<b>26%</b>	5,8 a	0,53 ab	2,27 a	51,87 a	0,05 b	3,65 ab	1,13 a	7,24 a	5,07 ab	1,31 a
<b>39%</b>	5,4 b	0,48 ab	2,39 a	39,91 a	0,04 b	3,00 c	0,88 a	7,08 a	4,19 c	1,32 a
<b>55%</b>	5,6 ab	0,39 b	2,44 a	48,61 a	0,05 b	3,27 bc	0,95 a	6,87 a	4,45 bc	1,42 a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5%.

Não foi constatado efeito de interação entre o sombreamento e consórcio, ocorrendo apenas efeito independente dos tratamentos sobre os parâmetros químicos do

solo. As variáveis químicas dos solos foram influenciadas pelo consórcio somente a partir dos 165 dias de cultivo (Tabela 2). Verificou-se que o pH do solo variou de 6,0 a 5,8 com os maiores valores nas parcelas não consorciadas (SEM), enquanto que o teor de MO em área com consórcio gramínea e leguminosa (COM) foi maior do que em monocultivo. Aos 210 dias, apenas o teor de P foi influenciado pelo sistema com maior valor encontrado em área sem consórcio.

**Tabela 2.** Caracterização química do solo, considerando os períodos de coleta em pastagens de *Cenchrus ciliaris* L. consorciadas ou não com plantas de *Clitoria ternatea* L.

Consórcio	pH	CE dS/m	MO %	P mg/dm <sup>3</sup>	Na	Ca	Mg	CTC	SB (V%)	C %
SEM	6,0 a	0,43 a	2,31 a	22,19 a	0,07 a	3,16 a	1,27 a	6,52 a	4,90 a	1,24 a
COM	6,2 a	0,36 a	2,33 a	14,85 a	0,07 a	3,26 a	1,45 a	6,91 a	5,11 a	1,35 a
<b>120 dias de cultivo</b>										
SEM	6,0 a	0,35 a	2,22 a	21,57 a	0,07 a	3,35 a	1,28 a	6,31 a	4,84 a	1,29 a
COM	6,18 a	0,33a	2,16 a	23,04 a	0,07 a	3,33 a	1,32 a	6,60 a	4,94 a	1,28 a
<b>165 dias de cultivo</b>										
SEM	6,0 a	0,40 a	5,79 b	27,78 a	0,07 a	3,41 a	1,26 a	6,70 a	4,93 a	1,32 a
COM	5,8 b	0,45 a	5,98 a	35,06 a	0,07 a	3,43 a	1,50 a	7,29 a	5,19 a	1,31 a
<b>210 dias de cultivo</b>										
SEM	5,6 a	0,49 a	2,37 a	57,30 a	0,05 a	3,39 a	1,04 a	7,26 a	4,68 a	1,34 a
COM	5,6 a	0,52 a	2,38 a	42,36 b	0,05 a	3,57 a	1,04 a	7,16 a	4,87 a	1,38 a

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5%. \*SEM: monocultivo; \*COM: consórcio*

#### *Efeito do sombreamento e consórcio sobre as propriedades biológicas do solo (análise univariada)*

Em relação aos indicadores biológicos, houve efeito significativo do sombreamento sobre o carbono da biomassa microbiana (C-BM), a respiração do solo (RS), o quociente metabólico ( $q\text{CO}_2$ ), a  $\beta$ -glucosidase, a urease e a fosfatase ácida em todos os períodos avaliados (Tabelas 3 e 4).

Antes do estabelecimento do consórcio (AEC), maiores valores de C-BM foram observados, nos tratamentos 39% e 55% de sombreamento. Com a introdução da leguminosa (120, 165 e 210 dias de cultivo), em consórcio com a pastagem de capim buffel, houve aumento significativo no C-BM (Tabela 3). Tanto nas parcelas em monocultivo (SEM) como em consórcio (COM) o aumento do sombreamento incrementou significativamente o C-BM (Tabela 3). Ressalta-se que em parcelas em

consórcio (COM) o maior benefício do sombreamento para C-BM ocorreu no tratamento de 39%, enquanto que em parcela em monocultivo os maiores valores são alcançados com 55% de sombreamento (Tabela 3).

Por outro lado, verificou-se maior liberação de CO<sub>2</sub> pela respiração do solo nas áreas a pleno sol e em 26% de sombreamento, antes do estabelecimento do consórcio. (Tabela 3). De modo geral, maior fluxo de CO<sub>2</sub> foi constatado nas parcelas em consórcio aos 120 e 165 dias de cultivo, diferindo significativamente das áreas em monocultivo. Em geral, áreas com menor sombreamento, consorciadas ou não, apresentaram maiores valores de RS, exceto aos 165 dias de cultivo, no qual não constatamos diferenças significativas entre os níveis de sombreamento (Tabela 3).

Em geral, encontrou-se nas áreas a pleno sol e sem consórcio maiores taxas de quociente metabólico (Tabela 3). Aos 120 dias o efeito do sistema de cultivo e do sombreamento para esta variável foi bem evidente, sendo observado maiores valores  $q\text{CO}_2$  nas parcelas em monocultivo e com menores níveis de sombreamento (Tabela 3).

**Tabela 3.** Carbono da biomassa microbiana do solo (C-BM), respiração do solo (RS) e quociente metabólico ( $q\text{CO}_2$ ), na rizosfera de plantas de *Cenchrus ciliaris* L. consorciadas (COM) ou não (SEM) com *Clitoria ternatea* L., em diferentes níveis de sombreamento antes do estabelecimento do consórcio (AEC), 120, 165 e 210 dias de cultivo.

Níveis de sombreamento	C-BM $\mu\text{g de C g}^{-1}\text{solo}$										
	AEC	120 dias de cultivo			165 dias de cultivo			210 dias de cultivo			
		SEM	COM	Média	SEM	COM	Média	SEM	COM	Média	
0%	176,11 c	181,00 cB	379,36 dA	280,18	155,54 cB	562,48 dA	359,01	128,87 cB	207,15 bA	168,01	
26%	380,18 b	275,50 cB	583,39 cA	429,46	253,50 bB	651,75 cA	452,63	253,33 bA	251,75 bA	252,54	
39%	472,96 a	405,46 bB	731,07 aA	568,27	262,29 bB	875,81 aA	569,05	262,29 bB	335,14 aA	298,72	
55%	517,15 a	571,30 aB	667,66 bA	619,48	434,02 aB	717,13 bA	575,58	334,02 aA	357,13 aA	345,58	
Média	386,60	358,32	590,37		276,34	701,79		244,63	287,79		
<b>Níveis de significância</b>											
<b>Consór.</b>	ns	<0,01			<0,01				<0,01		
<b>Sombreamento</b>	<0,05	<0,01			<0,01				<0,01		
<b>Consór.x Sombr.</b>	ns	<0,01			<0,01				<0,05		
<b>RS <math>\text{CO}_2 \mu\text{g}^{-1}\text{solo.dia}^{-1}</math></b>											
	AEC	120 dias de cultivo			165 dias de cultivo			Média	210 dias de cultivo		
		SEM	COM	Média	SEM	COM		SEM	COM	Média	
0%	26,34 a	36,02 aB	63,65 aA	49,84	43,63 aB	76,50 aA	60,07	45,20 aA	31,28 aB	38,24	
26%	24,00 a	36,21aB	65,75 aA	50,98	38,75 aB	75,20 aA	56,98	30,36 bA	32,77 aA	31,57	
39%	14,27 b	35,03 aB	55,09 bA	45,06	34,76 aB	71,66 aA	53,21	30,35 bcA	30,07 aA	30,21	
55%	11,23 b	25,23 bB	31,43 cB	28,33	42,58 aB	52,81 bA	47,70	22,94 cB	18,12 bB	20,53	
Média	18,96	33,12	53,98		39,93	69,04		32,21	28,06		
<b>Níveis de significância</b>											
<b>Consór.</b>	ns	<0,01			<0,01				<0,01		
<b>Sombreamento</b>	<0,01	<0,01			<0,01				<0,01		
<b>Consór.x Sombr.</b>	ns	<0,01			<0,01				<0,01		

$q\text{CO}_2$ $\mu\text{g CO}_2 \mu\text{g Biomassa}^{-1} \text{d}^{-1}$											
	AEC	120 dias de cultivo			165 dias de cultivo			Média	210 dias de cultivo		
		SEM	COM	Média	SEM	COM		SEM	COM	Média	
0%	0,15 a	0,19	0,17	0,18 a	0,28 aA	0,14 aB	0,21	0,35 aA	0,14 aB	0,25	
26%	0,07 b	0,13	0,11	0,12 b	0,15 bA	0,12 abB	0,14	0,13 bA	0,12 abB	0,13	
39%	0,03 b	0,08	0,06	0,07 c	0,13 bA	0,08 bcB	0,11	0,11 bA	0,08 bcB	0,10	
55%	0,02 b	0,06	0,05	0,05 c	0,13 bA	0,07 cB	0,10	0,06 cA	0,07 cB	0,07	
Média	0,07	0,12a	0,09b		0,17	0,10		0,16	0,10		
Níveis de significância											
<b>Consór.</b>	ns	<0,01			ns			<0,01			
<b>Sombreamento</b>	<0,01	<0,01			ns			<0,01			
<b>Consór.x Sombr.</b>	ns	ns			<0,05			<0,01			

*Médias seguidas por diferentes letras minúsculas na coluna e maiúscula na linha diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 1% e 5% dentro de cada tempo. \*ns: não significativo.*

Com relação à atividade enzimática, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos para urease e fosfatase ácida antes do estabelecimento do consórcio (Tabela 4), enquanto que para a atividade da  $\beta$ -glucosidase constatou-se diferença entre os níveis de sombreamento em todos os períodos avaliados, destacando-se o tratamento com 39% de sombreamento (Tabela 4).

No geral, o sombreamento e o estabelecimento do consórcio resultaram em aumento da atividade da  $\beta$ -glucosidase; nas parcelas consorciadas a maior atividade desta enzima foi encontrada em 39% de sombreamento, enquanto que em condições de monocultivo isto ocorreu com 55% de sombreamento aos 120 e 165 dias. Entretanto, aos 210 dias não foram observadas diferenças significativas entre os níveis de sombreamento nas parcelas sem leguminosa, enquanto que nas parcelas consorciadas os maiores valores de atividade da  $\beta$ -glucosidase são encontrados nos maiores níveis de sombreamento (39 e 55%) (Tabela 4).

A atividade da urease foi influenciada pelo sistema de consórcio aos 120 e 165 dias de cultivo (Tabela 4), com maior atividade observada nas parcelas consorciadas quando comparado ao monocultivo. Aos 165 dias de cultivo, constatou-se também efeito do sombreamento, independente do sistema de cultivo, com redução da atividade em decorrência do aumento dos níveis de sombreamento (Tabela 4). Aos 210 dias de cultivo, constatou-se maior atividade em área consorciada a pleno solo (Tabela 4), diferindo significativamente dos demais tratamentos.

Para fosfatase ácida, apenas aos 165 dias de cultivo foi observada diferença significativa entre os sistemas de cultivo, com maior atividade enzimática no sistema de consórcio em comparação ao monocultivo (Tabela 4).

Aos 210 dias de cultivo foi possível observar o efeito do sombreamento e do consórcio sobre a fosfatase ácida (Tabela 4). Assim como verificado para as demais enzimas, o consórcio incrementou a atividade da fosfatase ácida quando comparado ao monocultivo. Embora em sistema de consórcio maior atividade desta enzima seja encontrada nos menores níveis de sombreamento, em sistema de monocultivo a atividade da fosfatase ácida atinge maiores valores nos níveis intermediários de sombreamento (26% e 29%) (Tabela 4).

**Tabela 4.** Atividade da  $\beta$ -glucosidase, urease e fosfatase ácida na rizosfera de plantas de *Cenchrus ciliaris* L. consorciadas (COM) ou não (SEM) com *Clitoria ternatea* L., em diferentes níveis de sombreamento antes do estabelecimento do consórcio (AEC), 120, 165 e 210 dias de cultivo.

Níveis de sombreamento	$\beta$ -glucosidase $\mu\text{g } \rho\text{-nitrofenol. g}^{-1} \text{ solo.h}^{-1}$										
	AEC	120 dias de cultivo			165 dias de cultivo			Média	210 dias de cultivo		Média
		SEM	COM	Média	SEM	COM		SEM	COM		
0%	3,18 b	2,12 bB	4,43 cA	3,28	3,87 bA	4,76 dA	4,32	3,10 aB	4,92 bA	4,01	
26%	3,19 b	3,78 bB	7,92 bA	5,85	3,94 bB	7,52 cA	5,73	4,40 aA	4,95 bA	4,68	
39%	4,70 a	3,52 bB	11,63aA	7,58	4,12 bB	15,50aA	9,81	4,46 aB	9,31 aA	6,89	
55%	3,09 b	7,41 aA	8,09 bA	7,75	8,12 aB	11,24 bA	9,68	4,31 aB	9,63 aA	6,97	
Média	3,54	4,21	8,02		5,01	9,76		8,14	7,20		
<b>Níveis de significância</b>											
<b>Consór.</b>	ns	<0,01			<0,01				<0,01		
<b>Sombreamento</b>	<0,01	<0,01			<0,01				<0,05		
<b>Consór.x Sombr.</b>	ns	<0,01			<0,01				<0,01		
<b>Urease <math>\mu\text{g N-NH}_4^+\text{g}^{-1} \text{ 2h}^{-1}</math></b>											
	AEC	120 dias de cultivo			165 dias de cultivo			Média	210 dias de cultivo		Média
		SEM	COM	Média	SEM	COM		SEM	COM		
0%	21,76 a	21,42	26,18	23,80	21,79	31,49	26,64a	11,46 aB	20,18 aA	15,82	
26%	23,73 a	20,49	27,16	23,83	21,67	27,98	24,83b	11,40 aA	13,71 bA	12,59	
39%	22,76 a	22,56	25,23	23,90	22,72	22,00	22,36c	12,98 aB	15,48 bA	14,23	
55%	22,26 a	22,41	25,51	23,96	21,70	22,53	22,12c	10,70 aA	12,98 bA	11,84	
Média	22,63	21,72b	26,02a		21,97b	26,00a		11,64	15,59		
<b>Níveis de significância</b>											
<b>Consór.</b>	ns	<0,01			<0,01				<0,01		
<b>Sombreamento</b>	ns	ns			<0,01				<0,01		
<b>Consór.x Sombr.</b>	ns	ns			ns				<0,01		
<b>Fosfatase Ácida <math>\mu\text{g p-nitrofenol. g}^{-1} \text{ solo.h}^{-1}</math></b>											

	AEC	120 dias de cultivo			165 dias de cultivo			210 dias de cultivo		
		SEM	COM	Média	SEM	COM	Média	SEM	COM	Média
0%	10,15 a	13,39	12,05	12,72	8,65	12,40	10,53	8,72 cB	12,11 aA	10,42
26%	9,26 a	10,74	14,79	12,77	6,68	10,69	8,69	10,56 aB	11,41 abA	10,99
39%	9,29 a	12,92	12,81	12,87	10,30	11,27	10,79	10,35 abB	11,44 abA	10,90
55%	9,55 a	12,73	16,27	14,50	9,25	10,96	10,11	9,17 bcB	10,56 bA	9,87
Média	9,56	12,45	13,98	13,22	8,72b	11,33a		9,70	11,38	
<b>Níveis de significância</b>										
<b>Consór.</b>	ns	ns			<0,01			ns		
<b>Sombreamento</b>	ns	ns			ns			ns		
<b>Consór.x Sombr.</b>	ns	ns			ns			<0,01		

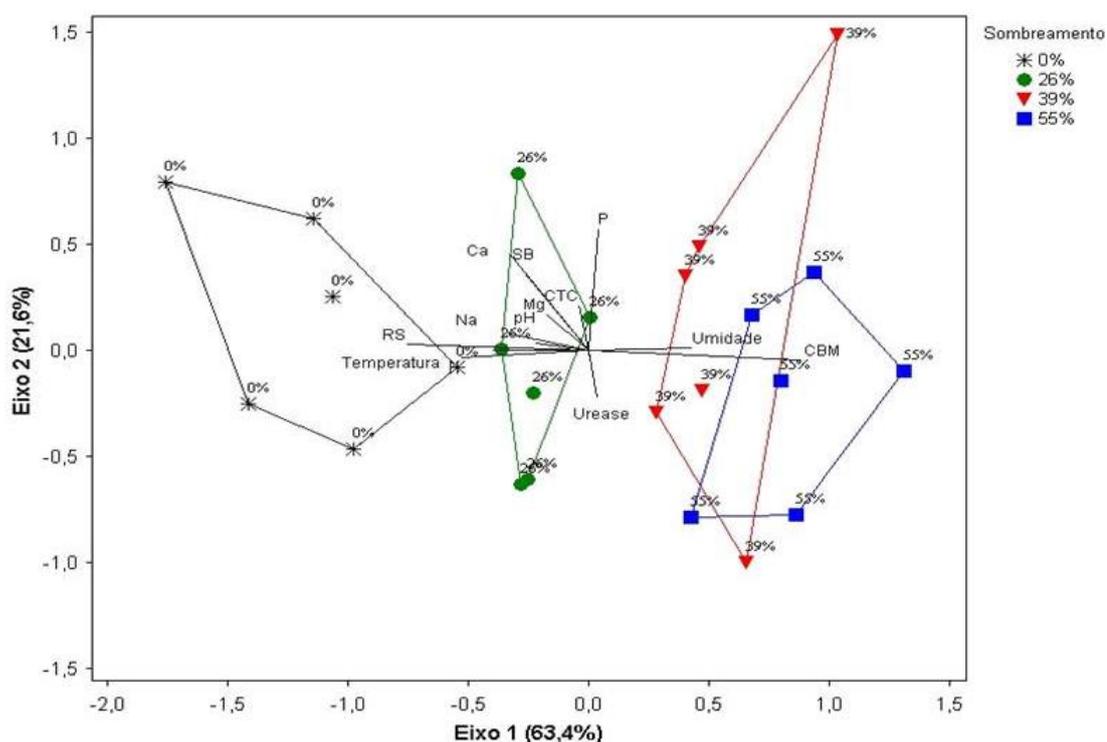
*Médias seguidas por diferentes letras minúsculas na coluna e maiúscula na linha diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 1% e 5% dentro de cada tempo. \*ns: não significativo.*

*Efeito do sombreamento e consórcio sobre as propriedades físico-químicas e biológicas do solo (análise multivariada)*

Variações no funcionamento biológico e nas propriedades químicas e físicas, antes e após o estabelecimento do consórcio, foram representadas em gráficos bidimensionais de acordo com a técnica de ordenação NMS (Figuras 3, 4, 5 e 6). Além disto, foi realizada uma análise de comparação múltipla (MRPP) para correlacionar os níveis de sombreamento com cada período de coleta (Tabela 5). Com base nessa análise, foi verificado que apenas aos 120 e 165 dias houve diferença significativa entre os tratamentos de consórcio.

A ordenação NMS dos tratamentos antes do estabelecimento do consórcio explicou 85% da variação, no qual a primeira e a segunda variáveis corresponderam a 63,4% e 21,6 % da variação total, respectivamente (Figura 3). As variáveis mais importantes foram C-BM, RS, temperatura, umidade, Na e pH; correlacionando-se positivamente (C-BM e umidade) e negativamente (RS, temperatura, Na e pH) com o primeiro eixo, enquanto o P, a CTC, a SB, o Ca, o Mg correlacionaram-se significativamente com o segundo eixo e a urease negativamente, sugerindo que os indicadores de qualidade do solo e as propriedades físico-químicas foram influenciadas pelos diferentes níveis de sombreamento (Tabela 6).

No geral, observou-se que RS e a temperatura do solo foram mais correlacionadas com as parcelas a pleno sol e negativamente relacionadas aos maiores níveis de sombreamento, enquanto que o C-BM e a umidade do solo foram correlacionados com as áreas mais sombreadas e as propriedades químicas foram relacionadas com o nível 26% de sombreamento (Figura 3).



**Figura 3.** Análise de escalonamento multidimensional (NMS) antes do estabelecimento do consórcio correlacionado com atributos químicos e físicos do solo em áreas de pastagens de *Cenchrus ciliaris* L. Os valores apresentados entre parênteses correspondem ao percentual da variação explicada pelos eixos da ordenação.

Após o estabelecimento do consórcio (120 dias de cultivo), aproximadamente 91% da variação dos dados foi representado pelo gráfico NMS, com 52% da variação no eixo 1 e 35,8% no eixo 2 (Figura 4A). A umidade, a temperatura (correlação significativa e positiva) e as variáveis químicas do solo (correlação significativa e negativa) foram correlacionadas com o eixo 1, enquanto o eixo 2 mostrou forte correlação positiva com urease, RS,  $\beta$ -glucosidase e C-BM (Figura 4A; Tabela 6).

Assim, como observado antes do estabelecimento do consórcio, as propriedades químicas e físicas foram mais relacionadas às áreas a pleno sol. Por outro lado, a urease e a RS do solo foram mais correlacionadas com 26% de sombreamento, enquanto que a  $\beta$ -glucosidase, C-BM e umidade do solo foram associadas ao maior nível de sombreamento.

Aos 120 dias, além do efeito do sombreamento, foi observado efeito do consórcio a partir do estabelecimento, gerando um gráfico de ordenação 2-D (Figura

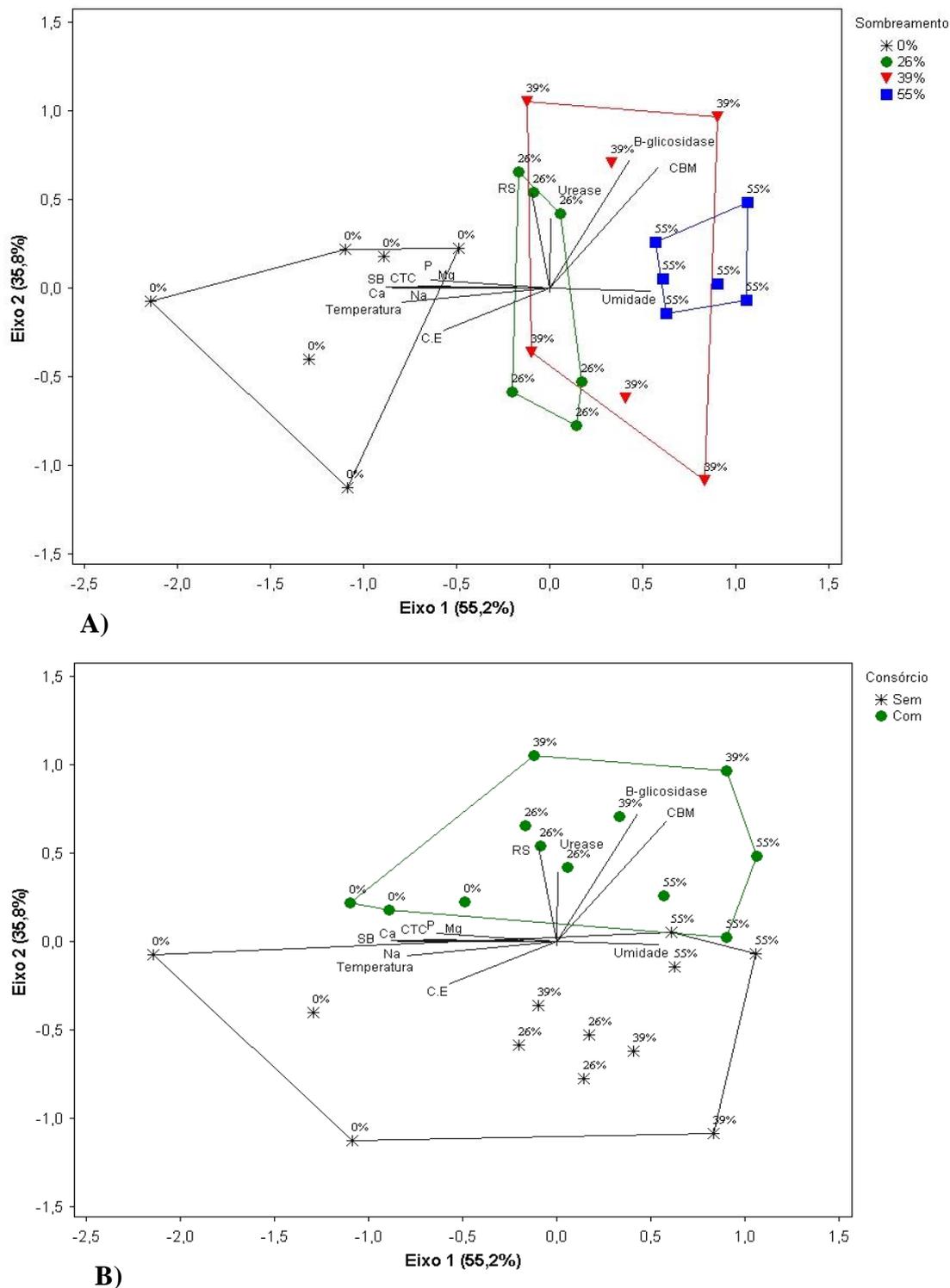
4B). Ao considerar as propriedades químicas e físicas do solo e os parâmetros biológicos, os eixos 1 e 2 do NMS representaram 52% e 35,8% da variação, com 91% da variação total. No geral, verificou-se que todos os indicadores de qualidade do solo e a umidade foram mais correlacionados com as áreas consorciadas (Figura 4B).

Em relação aos efeitos do sombreamento, destacou-se a correlação entre os parâmetros físicos e químicos do solo, com as áreas a pleno sol, exceto umidade. Essa variável relacionou-se mais com o nível de sombreamento 55%. Os indicadores biológicos de qualidade do solo estiveram mais relacionados aos níveis intermediários de sombreamento.

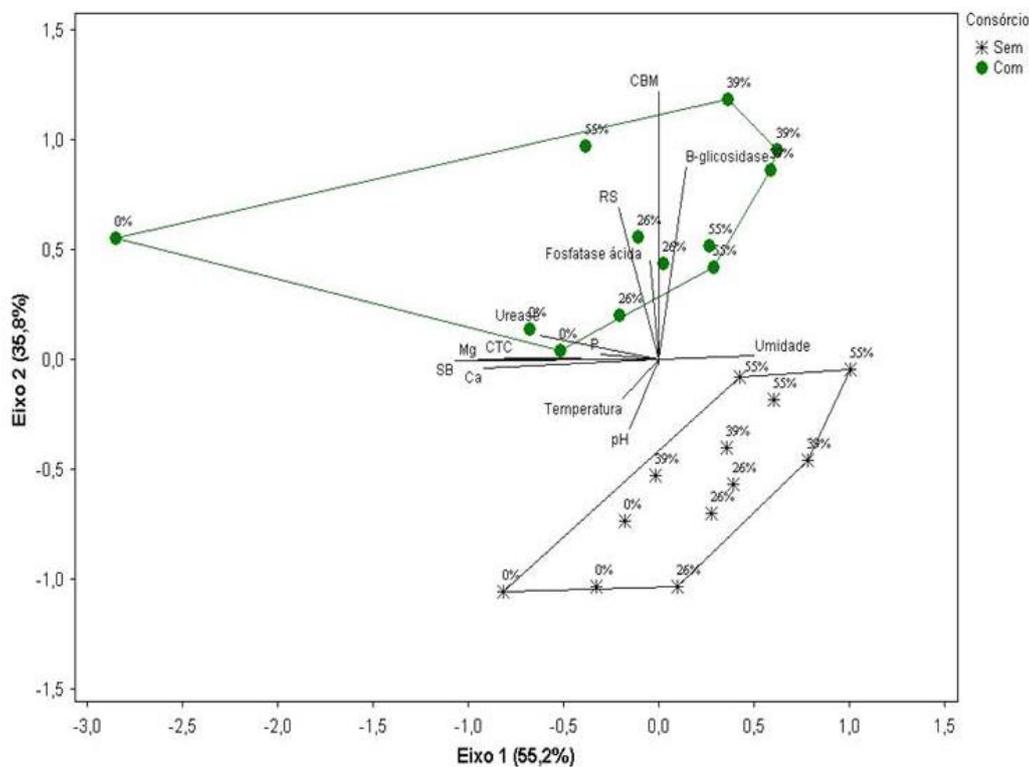
O consórcio entre cunhã e capim buffel foi a variável que mais influenciou os parâmetros físico-químicos e biológicos, aos 165 dias de cultivo (Figura 5).

O gráfico explicou 91% da variação (eixo 55,2% e eixo 35,8%), sendo possível observar uma clara separação entre os tratamentos consorciados ou não (Figura 5). O C-BM, a  $\beta$ -glucosidase, a temperatura, a fosfatase ácida, a RS e o pH foram correlacionados com o eixo 1, enquanto a urease, a umidade, a CTC, o Mg e o Ca foram relacionados ao eixo 2.

A  $\beta$ -glucosidase e o C-BM foram as variáveis biológicas correlacionadas com 39% de sombreamento, enquanto que a fosfatase ácida e a RS foram relacionadas à 26%. Os parâmetros químicos e a urease foram correlacionados com as áreas a pleno sol consorciadas; enquanto que os parâmetros físicos (umidade e temperatura) correlacionaram-se às áreas de monocultivo, estando a umidade vinculada ao maior nível de sombreamento e a temperatura aos tratamentos a pleno sol. Efeito similar foi observado para o pH, que esteve mais correlacionado com as áreas a pleno sol sem leguminosa (Figura 5).



**Figura 4.** Análise de escalonamento multidimensional (NMS) aos 120 dias do estabelecimento do consórcio correlacionado com atributos químicos e físicos do solo em áreas de pastagens de *Cenchrus ciliaris* L., em diferentes níveis de sombreamento (A), com ou sem *Clitoria ternatea* L. (B). Os valores apresentados entre parênteses correspondem ao percentual da variação explicada pelos eixos da ordenação.

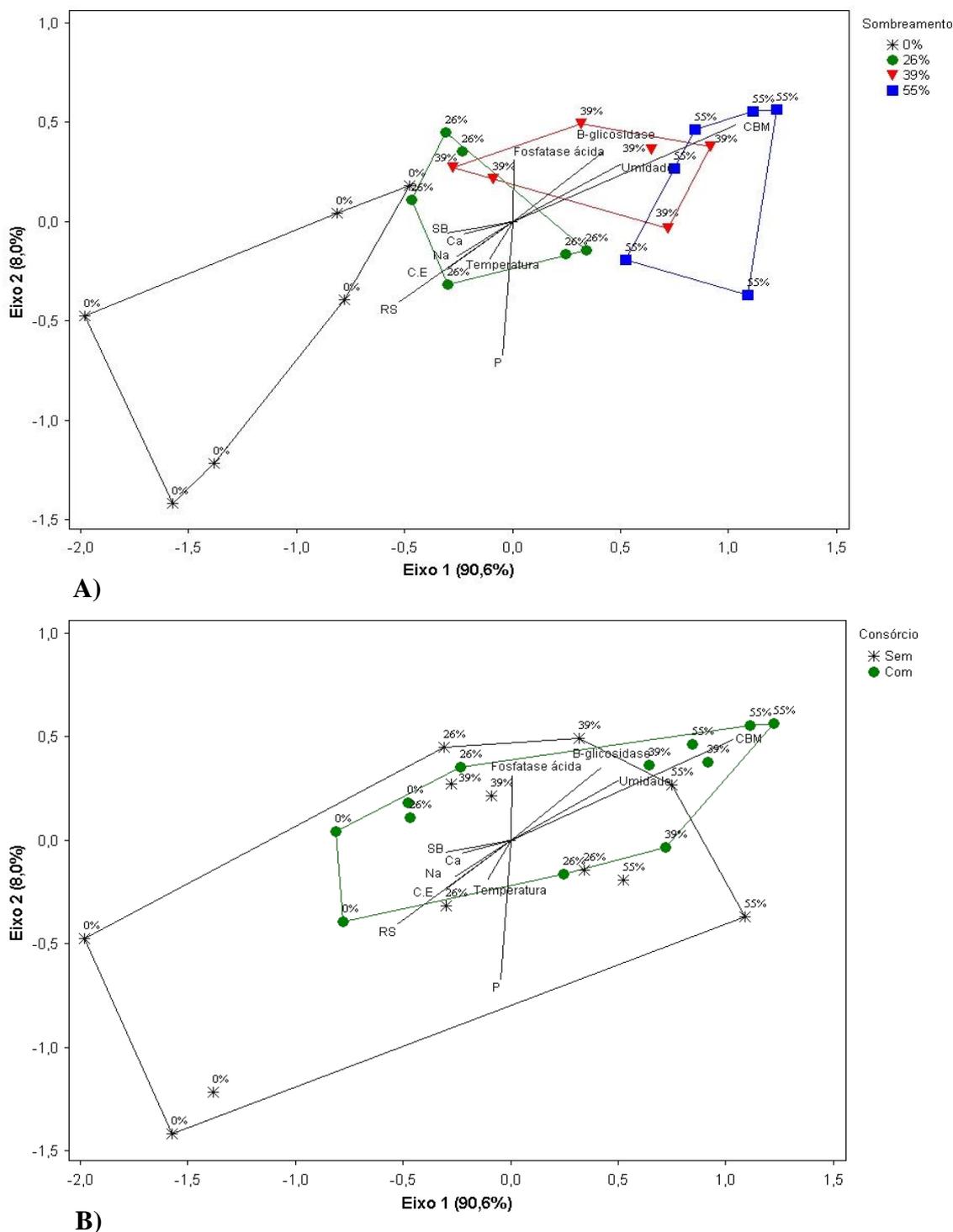


**Figura 5.** Análise de escalonamento multidimensional (NMS) aos 165 dias do estabelecimento do consórcio correlacionado com atributos químicos e físicos do solo em áreas de pastagens de *Cenchrus ciliaris* L. com e sem *Clitoria ternatea* L. Os valores apresentados entre parênteses correspondem ao percentual da variação explicada pelos eixos da ordenação.

A ordenação NMS aos 210 dias explicou 98,6% da variação total dos dados, no qual os eixos 1 e 2 corresponderam a 90,6% e 8,0%, respectivamente (Figuras 6 A,B).

Correlações negativas significativas foram encontradas entre o eixo 1 da ordenação e a RS, SB, Ca e Na; por outro lado, o eixo 2 correlacionou-se positivamente com a  $\beta$ -glucosidase, fosfatase ácida, o C-BM, a umidade, excetuando a temperatura do solo (Figura 6A; Tabela 5). Aos 210 dias de cultivo, o consórcio não foi um fator determinante na atividade microbiana e bioquímica (Figura 6B). Por outro lado, constatou-se aos 210 dias um gradiente devido ao sombreamento, sendo este fator determinante no comportamento das variáveis estudadas (Figura 6A). A  $\beta$ -glucosidase, o C-BM e a umidade foram mais relacionados aos tratamentos com maiores níveis de

sombreamento; enquanto que a RS foi mais relacionada com as parcelas a pleno sol (Figura 6A).



**Figura 6.** Análise de escalonamento multidimensional (NMS) aos 210 dias do estabelecimento do consórcio correlacionado com atributos químicos e físicos do solo em áreas de pastagens de *Cenchrus ciliaris* L., em diferentes níveis de sombreamento

(A), com ou sem *Clitoria ternatea* L. (B). Os valores apresentados entre parênteses correspondem ao percentual da variação explicada pelos eixos da ordenação.

**Tabela 5.** Análise de comparação entre áreas sombreadas, com e sem consórcio, pela análise de MRPP em áreas de pastagens de *Cenchrus ciliaris* L. nos diferentes períodos de coletas (antes do estabelecimento da leguminosa, 120, 165 e 210 dias de cultivo).

Grupos	<i>p</i>
<b>AEC</b>	
T0%, T26 %	0,0008*
T0%, T39 %	0,0005*
T0%, T55 %	0,0004*
T26 %, T39 %	0,0008*
T26 %, T55 %	0,0004*
T39 %, T55 %	0,0147ns
<b>120 dias de cultivo</b>	
T0%, T26 %	0,0079*
T0%, T39 %	0,0015*
T0%, T55 %	0,0005*
T26 %, T39 %	0,2166ns
T26 %, T55 %	0,0045*
T39 %, T55 %	0,0265ns
<b>165 dias de cultivo</b>	
T0%, T26 %	0,0591ns
T0%, T39 %	0,0102ns
T0%, T55 %	0,0006*
T26 %, T39 %	0,1116ns
T26 %, T55 %	0,0610ns
T39 %, T55 %	0,1430ns
<b>210 dias de cultivo</b>	
T0%, T26 %	0,0061*
T0%, T39 %	0,001*
T0%, T55 %	0,0006*
T26 %, T39 %	0,0775ns
T26 %, T55 %	0,0011*
T39 %, T55 %	0,0651ns

ns: não significativo; significativo a  $p < 0,008$ ; AEC: Antes do estabelecimento do consórcio

**Tabela 6.** Coeficiente de correlação das variáveis analisadas com os eixos 1 e 2 da ordenação NMS.

Variáveis	AEC		120 dias		165 dias		210 dias	
	Eixo 1	Eixo 2						
<b>CBM</b>	<b>0,920***</b>	-0,212ns	<b>0,748***</b>	<b>0,662**</b>	-0,014ns	<b>0,952***</b>	<b>0,994***</b>	<b>0,681**</b>
<b>RS</b>	<b>-0,853***</b>	0,172ns	-0,235ns	<b>0,721***</b>	<b>-0,402*</b>	<b>0,721***</b>	<b>-0,714***</b>	<b>-0,622**</b>
<b>β-glucosidase</b>	0,319ns	0,020ns	<b>0,652**</b>	<b>0,698***</b>	0,330ns	<b>0,809***</b>	<b>0,635**</b>	<b>0,582**</b>
<b>Urease</b>	0,189ns	<b>-0,463*</b>	0,121ns	<b>0,571**</b>	<b>-0,683**</b>	0,286ns	-0,078ns	0,135ns
<b>Fosfatase ácida</b>	-0,233ns	<b>-0,366*</b>	0,156ns	0,312ns	-0,187ns	<b>0,580**</b>	0,079ns	<b>0,550**</b>
<b>Umidade</b>	<b>0,640**</b>	0,116ns	<b>0,659**</b>	-0,214ns	<b>0,612**</b>	0,114ns	<b>0,694***</b>	<b>0,531**</b>
<b>Temperatura</b>	<b>-0,621**</b>	-0,041ns	<b>-0,827***</b>	-0,148ns	<b>-0,384*</b>	<b>-0,371*</b>	-0,328ns	<b>-0,430*</b>
<b>C.E.</b>	<b>-0,412*</b>	0,296ns	<b>-0,720***</b>	<b>-0,356*</b>	-0,132ns	0,160ns	<b>-0,538**</b>	<b>-0,475**</b>
<b>pH</b>	<b>-0,461*</b>	0,187ns	0,083ns	<b>0,408*</b>	-0,343ns	<b>-0,490**</b>	<b>-0,356*</b>	0,029ns
<b>M.O.</b>	0,338ns	-0,094ns	-0,167ns	-0,189ns	-0,219ns	-0,280ns	0,068ns	-0,241ns
<b>P</b>	0,196ns	0,742ns	<b>-0,708***</b>	-0,310ns	<b>-0,480**</b>	0,130ns	-0,219ns	<b>-0,802***</b>
<b>K</b>	<b>-0,715***</b>	-0,188ns	-0,253ns	-0,027ns	-0,330ns	-0,078ns	-0,217ns	<b>-0,383*</b>
<b>Na</b>	<b>-0,569**</b>	0,279ns	<b>-0,735***</b>	-0,057ns	<b>-0,364*</b>	-0,018ns	<b>-0,502**</b>	<b>-0,416*</b>
<b>Ca</b>	<b>-0,562**</b>	<b>0,660***</b>	<b>-0,830***</b>	0,142ns	<b>-0,828***</b>	-0,185ns	<b>-0,471*</b>	-0,247ns
<b>Mg</b>	<b>-0,412*</b>	<b>0,411*</b>	<b>-0,674**</b>	0,164ns	<b>-0,842***</b>	0,012ns	-0,312ns	0,088ns
<b>SB</b>	<b>-0,506**</b>	<b>0,590**</b>	<b>-0,845***</b>	0,199ns	<b>-0,892***</b>	-0,065ns	<b>-0,545**</b>	-0,235ns
<b>CTC</b>	-0,195ns	<b>0,455*</b>	<b>-0,755***</b>	0,222ns	<b>-0,780***</b>	0,077ns	<b>-0,406*</b>	-0,314ns
<b>%C</b>	0,329ns	-0,100ns	-0,234ns	-0,140ns	-0,046ns	0,004ns	0,075ns	-0,257ns

ns: não significativo; \*: p<0,05; \*\*: p<0,01 e \*\*\*: p<0,001

CBM= carbono da biomassa microbiana; RS= respiração basal do solo; C.E.= condutividade elétrica; M.O.= matéria orgânica; CTC= capacidade de troca catiônica; %C= teor de carbono; SB= saturação por base.

## Discussão

### *Efeito do sombreamento e consórcio sobre as propriedades químicas e físicas do solo*

Maiores teores de P, Ca, Mg e SB encontrados nos tratamentos a pleno sol (120 dias de cultivo), podem ser devido a maior mineralização dos compostos orgânicos disponibilizados pelas plantas. Por outro lado, Freitas et al. (2013) não encontraram diferenças nos teores de nutrientes em pastos de braquiária sob pleno sol, mesmo com maior acúmulo de serrapilheira neste sistema quando comparado ao agrosilvipastoril. Tal fato pode ser decorrente da espécie vegetal, tendo em vista que existem diferenças entre a qualidade e quantidade de nutrientes que as plantas disponibilizam ao solo, como demonstrado por Carneiro et al. (2008). Entretanto, ao longo do estabelecimento do cultivo (165 e 210 dias) não se constatou diferença significativa entre os tratamentos para os teores de P e Mg. Ao contrário, Ribaski e Menezes (2002) encontraram maiores valores de P sob a copa da algaroba quando comparados à área fora da copa, em condições silvipastoril no semiárido. Segundo estes autores, a algaroba é considerada espécie potencial para restabelecer a fertilidade e a produtividade dos solos, fato que parece não ocorrer com o cultivo de capim buffel.

Parcelas a pleno sol, aos 165 e 210 dias de cultivo apresentaram maiores valores de pH no solo. Estes resultados também foram verificados por Ribaski e Menezes (2002) que também encontraram maior pH fora da copa da algaroba. Pode ser que a umidade do solo e temperatura tenham influenciado este resultado, entretanto esta relação não é tão evidente, sendo necessários estudos mais pontuais sobre esta questão. Além dos valores de pH, foram encontrados maiores valores de teores de C nos maiores níveis de sombreamento, especialmente aos 165 dias de cultivo. Similarmente, Tian et al. (2013) encontraram maiores valores de carbono orgânico quando *Camellia sinensis* L. estava sob a copa de *Ginkgo. Biloba* (L.) O. Kuntze. Este maior acúmulo de carbono orgânico encontrado nos maiores níveis de sombreamento pode ser devido a maior umidade do solo que favoreceu a biota do solo para decompor a matéria orgânica disponível neste tratamento e a grande renovação de raízes no solo nestas condições. Da mesma forma, Mugunga e Mugumo (2013) encontraram maior teor C no solo quando plantas de *Brachiaria decumbens* Stapf estavam sombreadas pela copa de *Acacia sieberiana* DC. Estes autores atribuíram os maiores valores de C devido a maior deposição de matéria orgânica provinda da espécie arbórea, do volume de raízes das

plantas e da presença de fezes dos animais que utilizaram a área para descanso e sombreamento.

Aos 165 dias de cultivo foi observado maior valor de pH do solo nas áreas não consorciadas, sendo este resultado similar ao encontrado por Salgado et al. (2006) em áreas de café em monocultivo quando comparada às parcelas de café consorciadas com *Grevilea robusta* A. Cunn. Além disso, os menores valores de pH observados nas áreas consorciadas podem ser decorrentes do aumento da nitrificação do solo (Binkley e Sollins, 1990), fato que pode ser decorrente do uso de leguminosas como planta consorciada em nosso estudo. Montagnini e Sancho (1994) também constataram que a incorporação de espécies vegetais fixadoras  $N_2$  aumenta a mineralização e a nitrificação do N no solo, resultando em baixo pH do solo.

Após 210 dias de cultivo foi verificado maior teor de P nas áreas sem leguminosas, tal resultado também foi observado por Leite et al. (2013) em solos de pastagens quando comparado às áreas consorciadas com macaúba. Estes autores atribuíram à competição dos ácidos orgânicos com o P pelos sítios de adsorção, aumentando os teores de P disponível no solo.

#### *Efeito do sombreamento e consórcio nas propriedades biológicas do solo*

Maior C-BM foi constatado nos maiores níveis de sombreamento (39% e 55%) em relação às áreas menos sombreadas. Tais resultados podem ser atribuídos à temperatura amena decorrente do sombreamento, promovendo um microclima mais favorável para estrutura da comunidade microbiana. Estudo realizado por Brockett et al. (2012) demonstraram que a umidade do solo apresenta correlação positiva com a biomassa microbiana, sendo considerado o principal fator na estruturação da população microbiana do solo (Bell et al. 2008). Na Nova Zelândia, o C-BM foi maior no inverno e outono e baixo no verão em solo de pastagem, sendo atribuído à umidade do solo, mais favorável, e à oferta de C solúvel derivado da constante renovação de raízes finas provindo das gramíneas (Chen et al. 2003). Por outro lado, no semiárido pernambucano houve redução do N e C-BM quando o capim buffel estava sob a copa da algaroba em sistema silvipastoril (Wick et al. 2000). A variação nos resultados encontrados sugere que provavelmente diferenças na diversidade microbiana redundam em funcionalidade diferencial.

De modo geral, o sistema de consórcio propiciou maiores valores de C-BM quando comparado às parcelas em monocultivo em todos os níveis e tempos de cultivo. Sistema de consórcio de *Ginkgo biloba* (L.) O. Kuntze. e *Camellia sinensis* L. também proporcionou maior C-BM na China (Tian et al. 2013). Entretanto, no brejo paraibano ocorreu o contrário, ou seja, menor valor de C-BM foi encontrado no consórcio entre *Sorghum bicolor* (L.) Moench e *Ricinus communis* L., sendo sugerido que o manejo intensivo nesta área foi responsável pela redução do carbono microbiano (Pôrto et al. 2009). Outro fator que poderia influenciar a quantidade de carbono retido na biomassa microbiana seria a escolha das plantas consorciadas, visto que algumas espécies vegetais podem contribuir com maior aporte de C.

Áreas a pleno sol e com menor nível de sombreamento apresentaram maior liberação de CO<sub>2</sub> via respiração do solo, sendo esta liberação mais acentuada com o estabelecimento do consórcio. De acordo com Islam e Weil (2000), altas taxas de respiração podem indicar uma alta produtividade do sistema através da oferta de grandes quantidades de C lábil ou um fator estressante. No presente estudo, a RS parece indicar um ambiente estressante, pois as parcelas menos sombreadas ou a pleno sol estão mais expostas ao aumento da temperatura e ao menor conteúdo de água no solo, aliado a este fato, não houve diferença entre os níveis de sombreamento para a quantidade de C do solo. No semiárido da Austrália, Kaur et al. (2010) observaram, em pastagens de *Cenchrus ciliaris*, aumento na RS com o aumento da temperatura do solo. Resultado similar foi observado por Chen et al. (2003), que reportaram maior respiração do solo em áreas de pastagens na primavera e no verão e menor valor no inverno, quando comparadas à área de floresta. Além disso, os autores observaram que a respiração do solo foi positivamente correlacionada com a temperatura do solo em ambos os sistemas, mais do que à umidade do solo. Salienta-se que o sombreamento ocasionado pela copa da árvore e a serapilheira disponibilizada pelas plantas resulta em diferenças de temperatura e umidade do solo, promovendo alterações na taxa de respiração do solo (Lee e Jose, 2003).

Áreas consorciadas apresentam maior liberação de CO<sub>2</sub> pela RS do que as áreas em monocultivo (Azar et al. 2013). Tais resultados corroboram com os do presente estudo, visto que áreas consorciadas, em todos os níveis de sombreamento, apresentaram maior liberação de CO<sub>2</sub> podendo ser atribuídos a maior biomassa microbiana acumulada nestas áreas. Estudos realizados em 10 sistemas de uso da terra

demonstraram que em pastagens consorciadas a respiração do solo pode atingir valores até quatro vezes superiores aos encontrados em monocultivo (Assis Junior et al. 2003), em nosso estudo estes valores foram cerca de duas vezes superiores, correspondendo a 106,16% de incremento com 39% de sombreamento.

Segundo Anderson e Domsch (1990), o  $qCO_2$  reflete a eficiência dos microorganismos heterotróficos em converter o carbono orgânico em biomassa microbiana. Dessa forma, o  $qCO_2$  foi significativamente alto nas áreas menos sombreadas, mostrando uma menor biomassa microbiana com alta taxa de respiração e baixa incorporação de carbono, diferente do observado nas áreas consorciadas. Tais resultados mostram uma biomassa microbiana menos eficiente com altas perdas de C através da respiração do solo. Menor  $qCO_2$  em áreas de monocultura com *Panicum maximum* L. foram observadas em relação aos demais sistemas de cultivo, atribuindo-se este resultado à presença de uma biomassa microbiana mais eficiente (Lopes et al. 2010). Segundo Pôrto et al. (2009), elevados valores  $qCO_2$  refletem em maiores perdas de C por unidade de carbono microbiano, indicando um processo degradativo neste sistema. Desta forma, o aumento no sombreamento da área pode beneficiar os indicadores de qualidade do solo e conseqüentemente a sustentabilidade da pastagem.

Os maiores níveis de sombreamento incrementaram a atividade enzimática da  $\beta$ -glucosidase. A alta atividade desta enzima em 39% de sombreamento pode estar relacionada aos maiores valores de C-BM encontrados nos maiores níveis de sombreamento, visto que estudos demonstraram que a  $\beta$ -glucosidase é positivamente relacionada ao carbono microbiano (Bohme e Bohme, 2006; Turner et al. 2002).

Além do sombreamento, a inclusão da leguminosa aumentou a atividade da  $\beta$ -glucosidase. Tal fato pode ser decorrente das mudanças na composição da comunidade microbiana ocasionada pelo sistema de consórcio (Vallejo et al. 2012). Divergindo do presente estudo, Wick et al. (2000) observaram redução da  $\beta$ -glucosidase no sistema silvipastoril entre capim buffel e algaroba no semiárido pernambucano. Mais tarde, Sanaullah et al. (2011) também observaram que em cultivo misto de gramíneas e leguminosa a atividade da  $\beta$ -glucosidase era reduzida em resposta à condição de seca, enquanto que em monocultivo esta enzima tendeu a aumentar. Segundo os autores as condições de seca promovem uma lenta decomposição da MO mesmo quando cultivada em consórcio. A distinção entre os resultados encontrados pode ser decorrente das plantas consorciadas, do sombreamento proporcionado e do período de estabelecimento

do consórcio, visto que muitas vezes os estudos relatam um determinado tempo e não a cronosequência.

Em sistemas consorciados, maior atividade da urease foi encontrada no consórcio *Ginkgo biloba* (L.) O. Kuntze. e *Morus alba* L. quando comparado aos demais sistemas de plantação (Wang e Cao, 2011). Tais resultados são similares aos do presente estudo, visto que em áreas consorciadas houve leve aumento na atividade da urease. Na Colômbia, Vallejo et al. (2012) também observaram que o sistema silvipastoril intensivo levou ao aumento da atividade da urease em relação a pastagem (*Cynodon plectostachyus*) em monocultivo.

Como observado, o sombreamento reduziu a atividade da urease, isto pode ser decorrente do estímulo da atividade da urease ser desencadeada pelo aumento da temperatura do solo, condição encontrada em área a pleno sol, como demonstrado por Sandars et al. (2008). Além disso, a cunhã (*C. ternatea*) tem potencial em estabelecer simbiose com bactérias fixadoras de nitrogênio (Sánchez et al. 2011), disponibilizando-o para gramínea, aumentando a ciclagem de nitrogênio e incrementando a atividade das enzimas relacionadas ao ciclo do N. Tian et al. (2013) constataram que a urease é altamente correlacionada com conteúdo de N presente no solo.

Assim como no presente estudo, Wang e Cao (2011) observaram maior atividade da fosfatase ácida no consórcio *Ginkgo biloba*, *Triticum aestivum* L. e *Gycine max* L. Em região semiárida, Ullah et al. (2013) constataram que o consórcio de trigo e feijão mungo, resultou em maior atividade enzimática da fosfatase alcalina quando comparado ao consórcio trigo e milho, sendo sugerido pelos autores a introdução de leguminosas para manter a produtividade e qualidade dos solos. Além disso, níveis intermediários de sombreamento são mais favoráveis para atividade da fosfatase. Este fato foi constatado em estudo em cronosequência realizado em sistema silvipastoril intensivo formado por algaroba na Colômbia (Vallejo et al. 2012). Devido a sua natureza heterogênea as enzimas envolvidas no ciclo do P podem ser consideradas importantes parâmetros para análise de fertilidade do solo.

#### *Efeito do sombreamento e consórcio sobre as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (multivariada)*

A análise de NMS mostrou que o sombreamento e o consórcio causam mudanças nos indicadores de qualidade do solo (C-BM, RS,  $\beta$ -glucosidase, fosfatase

ácida e urease), e nas propriedades físico-químicas (K, Na, Mg, Ca, pH, CTC, SB, temperatura e umidade do solo). Segundo a análise multivariada, os maiores níveis de sombreamento promoveram os maiores valores do C-BM e umidade do solo em todos os períodos avaliados. Outros autores também observaram aumento no C-BM em área sombreada com *Prosopis cineraria* L. e *Cocus nucifera* L. (Yadav et al. 2011; Azar et al. 2013). Outro fator que pode ter contribuído para o aumento da C-BM é a umidade do solo, uma vez que é conhecido que áreas sombreadas possuem maiores teores de umidade (Anderson et al. 1988). No semiárido nordestino, Ribaski e Menezes (2000) constataram que a umidade do solo em pasto de capim buffel sombreados por algaroba durante o período seco foi maior abaixo da copa da árvore. Além disso, correlação positiva é relatada entre essas duas variáveis (Brockett et al. 2012). Os resultados do presente estudo, também evidencia que a introdução da leguminosa após 120 e 165 dias de cultivo favoreceu o aumento do carbono microbiano. Tian et al. (2013) verificaram aumento do C-BM no consórcio *Gingko biloba* e *Camellia sinensis* em relação ao monocultivo de *C. sinensis*. Segundo Azar et al. (2013), o consórcio do coqueiro com plantas de braquiária promoveu maior liberação de compostos orgânicos, contribuindo para o aumento deste indicador de qualidade do solo.

Considerando os resultados obtidos pela NMS observamos que a respiração do solo mostrou-se mais relacionada com as parcelas a pleno sol e menos sombreada. Segundo Islam e Weil (2000) altas taxas de respiração podem indicar uma alta produtividade do sistema através da larga oferta de C lábil ou também, pode indicar um ambiente estressante. Neste estudo, o maior fluxo de CO<sub>2</sub> nessas parcelas antes e aos 210 dias, pode ser atribuído ao aumento da temperatura do solo nestas condições. Em regiões semiáridas, Kaur et al. (2010) observaram aumento da respiração do solo em pastagem de *Cenchrus ciliaris* com aumento da temperatura do solo. No entanto, após 120 e 165 dias de introdução da cunhã, a RS foi positivamente correlacionada com os tratamentos consorciados, sendo provável que o aumento nesses tratamentos seja decorrente do pool de C neste sistema, favorecendo o aumento na atividade metabólica dos micro-organismos. Azar et al. (2013) observaram maior respiração do solo em sistemas agroflorestais devido a maior entrada de MO e C disponíveis em comparação com o monocultivo.

A atividade das enzimas do solo fornece informações sobre o “status” da comunidade microbiana e das condições físico-químicas do solo (Aon et al. 2001),

possuindo papel crucial nos processos bioquímicos e na geração de energia no ecossistema do solo (Tian et al. 2013). Como também observados em outros trabalhos (Kaur et al. 2010; Vallejo et al. 2012) a atividade da  $\beta$ -glucosidase é modificada em condições de sombreamento e consórcio. Tanto em condições de monocultivo como no consórcio, a  $\beta$ -glucosidase esteve mais correlacionada com as parcelas mais sombreadas, seguindo o mesmo comportamento da C-BM. Vallejo et al. (2012) verificaram que a  $\beta$ -glucosidase e a biomassa microbiana do solo foram sempre mais altas nos tratamentos sombreados. Além disso, a  $\beta$ -glucosidase é conhecida por se correlacionar com as respostas de mudança do carbono da biomassa microbiana (Turner et al. 2002), principalmente por que esta enzima é importante fonte de energia para os micro-organismos (Bandick e Dick, 1999).

A urease apresenta papel chave na ciclagem de N e catalisa a hidrólise da ureia em amônia tornando prontamente disponível para as plantas e micro-organismos (Uboto e Tewari, 2014). Os resultados deste estudo mostram que a atividade da urease correlaciona-se com os tratamentos consorciados e em condições menos sombreadas e a pleno sol. O aumento da atividade desta enzima em tais condições pode ser devido ao aumento da temperatura do solo nas áreas sem sombras, bem com a preservação da umidade do solo em condições consorciadas. Sandars et al. (2008) observaram que o aumento da temperatura do solo em épocas de elevada umidade favorecia a atividade da urease. Wang e Cao (2011) testando cinco sistemas de plantações na China constataram que o sistema baseado em consórcio aumentou a atividade da urease. Outro fator que pode ter contribuído, é a fixação simbiótica de N pela leguminosa em condições menos sombreadas, disponibilizando mais N para a microbiota do solo. Segundo Hungria et al. (1985) o sombreamento de 25% elevou a eficiência na fixação  $N_2$  quando comparada a áreas com 40% de sombreamento.

Aos 165 dias de cultivo, a fosfatase-ácida correlacionou-se com área consorciada e com 26% de sombreamento. Este resultado pode ser atribuído ao pH do solo observado nas áreas consorciadas neste período de coleta que se encontrava na faixa de atuação desta enzima (6,5) de acordo com Dodor e Tabatabai (2003). Além disso, a diversidade de raízes provindas do consórcio pode ter estimulado a sua atividade. Segundo Criquet et al. (2004) as raízes das plantas constituem-se como a principal fonte de fosfatase ácida no solos.

Áreas a pleno sol podem contribuir para acelerar o processo de decomposição dos resíduos orgânicos em relação às áreas sombreadas, de acordo com os resultados publicados (Radmoski et al. 2012). Estes resultados podem explicar a maior fertilidade encontrada nos tratamentos a pleno sol e menos sombreada. No entanto, o pH do solo aos 165 dias de cultivo correlacionou-se com os tratamentos em monocultivo. Estes resultados corroboram com os de Ribaski e Menezes (2002) que também encontraram maior pH quando o capim buffel encontrava-se em monocultivo.

### **Conclusão**

O carbono de origem microbiana do solo é incrementado com aumento do sombreamento ao longo dos períodos estudados. A introdução de *C. ternatea* em pastagem de *C. ciliaris* contribui para o aumento do aporte de carbono da biomassa microbiana, selecionando microbiota mais eficiente na incorporação do carbono demonstrado pelo  $qCO_2$ . Em áreas de monocultivo de *C. ciliaris* a adoção de sombreamento acima de 55% é necessário para que haja aumento do C-BM e atividade da  $\beta$ -glucosidase, enquanto que em áreas consorciadas com *C. ternatea* o sombreamento a partir de 39% promove benefício .

O efeito do sistema de manejo sobre a atividade enzimática da urease foi detectado somente a partir de 120 dias de cultivo (1º ciclo de cultivo), e da fosfatase ácida aos 165 dias (2º ciclo de cultivo), sendo ambas as enzimas favorecidas pela introdução do consórcio com leguminosas em pastagens de capim buffel. Em áreas sob monocultivo o sombreamento favorece a atividade da fosfatase ácida, entretanto, em pastagem de capim buffel consorciado com leguminosa o sombreamento não contribui para aumentar a atividade desta enzima e da urease.

Os resultados da análise multivariada evidenciam que a introdução da leguminosa (consórcio) em pastos de capim buffel promove aumento da atividade microbiana (respiração e carbono da biomassa microbiana do solo, e a atividade das enzimas fosfatase ácida e  $\beta$ -glucosidase) nos maiores níveis de sombreamento aos 120 dias de cultivo; no entanto, os efeitos mais pronunciados ocorrem aos 165 dias de cultivo.

## Referências bibliográficas

ALEF, K.; NANNIPIERI, P. (EDS.) **Methods in applied soil microbiology and biochemistry**. London: Academic press, 1995. 576p.

ANDERSON, T.-H., DOMSCH, K.H., 1990. Application of eco-physiological quotients ( $qCO_2$  and  $qD$ ) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 22, p.251-255.

ANDERSON, G. W.; MOORE, R. W.; JENKINS, P. J. 1988. The integration of pasture, livestock and widely-spaced pine in South West Western Australia. **Agroforestry Systems**, 6: 195-211.

AON, M.A.; COLANERI, A.C. 2001. II. Temporal and spatial evolution of enzymatic activities and physico-chemical properties in an agricultural soil. **Applied Soil Ecology**, 18: 255-270.

ARRIAGA, L. A. E. et al. 2004. Potential ecological distribution of alien invasive species and risk assessment: A case study for buffel grass in arid regions of Mexico. **Conservation Biology**, 18: 1504–1514.

ASSIS-JÚNIOR, S. L. et al. 2003. Atividade microbiana do solo em sistemas agroflorestais, monoculturas, mata natural e área desmatada. **R. árvore**, Viçosa-MG, v.27, p. 35-41.

AZAR, G. S. et al. 2013. Biomassa e atividade microbiana do solo sob pastagem em sistemas de monocultura e sivilpastoril. **Semina: Ciência Agrárias**, Londrina, v.34, n.6, p. 2727-2736.

BANDICK, A.K.; DICK, R. P. 1999. Field management effects on soil enzyme activities. **Soil Biology and Biochemistry**, 31: 1471-1479.

BAINARD, L.K.; KLIRONOMOS, J. N.; GORDON, A. M. 2011. Arbuscular mycorrhizal fungi in tree-based intercropping systems: A review of their abundance and diversity. **Pedobiologia**, v.54, p. 57-61.

BARCELLOS, A. O. et al. 2008. Sustentabilidade da produção animal baseada em pastagens consorciadas e no emprego de leguminosas exclusivas, na forma de banco de proteína, nos trópicos brasileiros. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, p.51-67.

BLINKLEY, D. SOLLINS, P. 1990. Factors Determining Differences in Soil pH in Adjacent Conifer and Alder- Conifer Stands. *Soil Sci. Am. J.* v.54, p. 1427-1433.

BOHME, L.; BOHME, F. 2006. Soil microbiological and biochemical properties affected by plant growth and different long-term fertilization. **European Journal of Soil Biology**, 42: 1-12.

BROCKETT, B. F. T.; PRESCOTT, C. E.; GRAYSTON, S. J. 2011. Soil moisture is the major factor influencing microbial community structure and enzyme activities across seven biogeoclimatic zones in western Canada. **Soil Biology & Biochemistry**, 44: 9:20.

BURNS, R. G et al. 2013. Soil enzymes in a changing environment: Current knowledge and future directions. **Soil Biology & Biochemistry**, 58: 216-234.

CARNEIRO, M.A.C et al. 2008. Produção de fitomassa de diferentes espécies de cobertura e suas alterações na atividade microbiana de solo de cerrado. **Bragantia**, v.67, p.455-462.

CHEN, C. R.; CONDRON, L. M.; DAVIS, M. R.; SHERLOCK, R. R. 2003. Seasonal changes in soil phosphorus and associated microbial properties under adjacent grassland and forest in New Zealand. **Forest Ecology and Management**, v. 177, p. 539-557.

DEBOSZ, K., RAMUSSEN, P.H., PEDERSEN, A.B. 1999. Temporal variations in microbial biomass C and cellulolytic enzyme activity in arable soils: effects of organic matter input. **Applied Soil Ecology** 13: 209-218.

DODOR, D., TABATABAI, A. 2003. Effect of cropping systems of phosphatases in soils. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science** 166: 7-13.

DORAN, J.W.; ZEISS, M.R. 2000. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. **Applied Soil Ecology**, 15: 3-11.

EIVAZI, F.; TABATABAI, M. A.1988. Glucosidases and galactosidases in soils. **Soil Biol. Biochem.** 20:601–606.

FREITAS, E. C. S et al. 2013. Deposição de serapilheira e de nutrientes do solo em sistema agrossilvipastoril com eucalipto e acácia. **Revista Árvore**, v.37, p.409-417.

GOMES, S. M.; KALAMANI, A. 2003. Butterfly Pea (*Clitoria ternatea*): A nutritive multipurpose forage legume for the tropics – An Overview. **Pakistan Journal of Nutrition**, 2(6): p. 374-379.

HUNGRIA, M.; THOMAS, R. J.; DOREREINER, J. 1985. Efeito do sombreamento na fixação biológica do nitrogênio no feijoeiro. **Pesq. Agropec. Bras.** 20(10) :1143-1156.

ISLAM, K.R.; WEILL; R.R. 2000. A rapid microwave digestion method for colorimetric measurement of soil organic carbon. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. 29: 2269-2284.

KANDELER, E., GERBER, H. 1988. Short-term assay of soil urease activity using colorimetric determination of ammonium. **Biology Fertility of Soils** 6: 68-72.

KASCHUK, G.; ALBERTON, O.; HUNGRIA, M. 2010. Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: Lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability. **Soil biology & Biochemistry**, v.4, p. 1-13.

KAUR, K.; JALOTA, R. K.; MIDMORE, D. J. 2000. Soil respiration rate and its sensitivity to temperature in pasture systems of dry-tropics. **Acta agriculturae scandinavica section B - Soil and plant science**, v. 60, p. 407-419.

KAUR, B.; GUPTA, S. R.; SINGH, G. 2000. Soil carbon, microbial activity and nitrogen availability in agroforestry systems on moderately alkaline soils in northern India. **App.Soil. Ecol.** 15:283–294.

KRUSKAL, J.B. 1964. "Nonmetric multidimensional scaling: a numerical method." **Psychometrika** 29: 115–129.

LEE, K.-H.; JOSE, S. 2003. Soil respiration and microbial biomass in a pecan – cotton alley cropping system in Southern USA. **Agroforestry Systems**, 58: 45-54.

LEITE, L. F. C et al. 2013. Qualidade química do solo e dinâmica de carbono sob monocultivo e consórcio de macaúba e pastagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, p. 1257-1263.

LOPES, M. M. et al. 2010. Change in soil microbial biomass and activity in different Brazilian pastures. **Spanish Journal of Agricultural Research**, 8(4), p. 1253-1259.

MCCUNE, B., MEFFORD, M.J., 2011. PC-ORD. Multivariate Analysis of Ecological Data. Version 6. MjM Software, Gleneden Beach, Oregon, USA.

MEDEIROS H. R.; DUBEUX Jr. 2008. Efeitos da fertilização com nitrogênio sobre a produção e eficiência do uso da água em capim buffel. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 21, n. 3, p. 13-15.

MENEZES, R. S. C.; SALCEDO, I. H.; ELLIOTT, E. T. 2002. Microclimate and nutrient dynamics in a silvopastoral system of semiarid northeastern Brazil. **Agroforestry Systems**, v. 56, p. 27-38.

MERCANTE, F. M. et al. 2008. Biomassa microbiana, em um Argissolo Vermelho, em diferentes coberturas vegetais, em área cultivada com mandioca. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 34, p. 479-485.

MIELKE, P.W., BERRY, K.J. 2000. Permutation methods: a distance function approach. Springer-Verlag, New York. Mille-Lindblom, C.

MONTAGNINI, F., SANCHO, F. 1994. Aboveground biomass and nutrients in young plantations of indigenous tree: implications for site nutrient conservation. New york. **Journal of Sustainable Forestry**. V.1, p. 115-139.

MUNGUNGA, C.P.; MUGUMO, D.T. 2013. Acacia sieberiana Effects on Soil Properties and Plant Diversity in Songa Pastures, Rwanda. **International Journal of Biodiversity**, p.1-11.

NELSON, D.W.; SOMMERS, L.E. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: Sparks, D.L., Page, A.L., Helmke, P.A., Loeppert, R.H., Soltanpour P.N., Tabatabai, M.A., Johnston, C.T., Summer, M.E. (eds). *Methods of soil analysis. Part 3- Chemical methods*. American Society of Agronomy and Soil Science society of America, Madison, pp 961–1010.

PORTÔ, M. L. et al. 2009. Indicadores biológicos de qualidade do solo em diferentes sistemas de uso no brejo paraibano. **Ciência e Agrotecnologia**, 33: 1011-1017.

RADMOSKI, M. I.; RIBASKI, J. 2012. Fertilidade do solo e produtividade da pastagem em sistema silvipastoril com *Grevillea robusta*. **Pesq. Flor. Bras.**, v.32, n.69, p. 53-61.

- RIBASKI, J.; MENEZES, E. A. 2002. Disponibilidad y calidad del pasto buffel (*Cenchrus ciliaris*) en un sistema silvopastoril con algarrobo (*Prosopis juliflora*) en la región semi-árida Brasileña. **Agroforestía em las Americas**, v.9, p.33-34.
- SALGADO, B. G. et al. 2006. Avaliação da fertilidade dos solos de sistemas agroflorestais com cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em Lavras-MG. **R. Árvores**, v.30, n.3, p.343-349.
- SARDANS, J.; PENUELAS, J.; ESTIARTE, M. 2008. Changes in soil enzymes related to C and N cycle and in soil C and N content under prolonged warming and drought in a Mediterranean shrubland. **Applied Soil Ecology**, 39: 223-235.
- SANAULLAH, M. et al. 2011. Drought effects on microbial biomass and enzyme activities in the rhizosphere of grasses depend on plant community composition. **Applied Soil Ecology**, v.48, p. 38-44.
- SÁNCHEZ, R. C. L et al. 2011. Repuesta de combinaciones Rhizobium – *Clitorea ternatea* em condiciones de estrés salino em el Valle del Cauto en Cuba. **Rev. Mex. Cien. Pecu.** 2(2), p. 199-207.
- SCHLOTTER, M.; DILLY, O.; MUNCH, J. C. 2003. Indicators for evaluating soil quality. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.98, p. 255-262.
- SILVA, F de A. S. e. & AZEVEDO, C. A. V. de. 2009. Principal Components Analysis in the Software Assistat-Statistical Attendance in: World Congress on Computers in agriculture, 7, Reno-NV-USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- TABATABAI, M.A.; BREMNER, J.M. 1969. Use of p-nitrophenylphosphate for assay of soil phosphatase activity. **Soil Biology and Biochemistry**, 1: 301-307, 1969.
- TIAN, Y.; CAO, F.; WANG, G. 2013. Soil microbiological properties and enzyme activity in Ginkgo-Tea agroforestry compared with monoculture. **Agroforestry Systems**, v.87: 1201-1210.
- THEVATHASAN, N. V.; GORDON, A. M. 2004. Ecology of tree intercropping systems in the North temperate region: Experiences from southern Ontario, Canada. **Agroforest Systems**, v. 61, p. 257-268.
- TURNER, B. L. et al. 2002. B-glucosidase activity in pasture soils. **Applied Soil Ecology**, v.20, p. 157-162.
- ULLAH, R. et al. 2013. Effect of cropping system and seasonal variation on soil microbial biomass and enzymatic activities in arid soils. **The Journal of Animal & Plant Sciences**, 23 (2), p. 493-499.
- VALLEJO, V. E. et al. 2012. Effect land management and *Prosopilis juliflora* (Sw.) DC trees on soil microbial community and enzymatic activities in intensive silvopastoral systems of Colombia. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. v.150, p. 139-148.
- VANCE, E.; BROOKES P, JENKINSON, D. 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass carbon. **Soil Biology and Biochemistry**, 19:703-707.

WALDROP, M.P.; BALSER, T.C.; FIRESTONE, M.K. 2000. Linking microbial community composition to function in a tropical soil. **Soil Biology and Biochemistry**, 32: 1837-1846.

WANG, G.; CAO, F. et al. 2011. Integrated evaluation of soil fertility in Ginkgo (*Ginkgo biloba* L.) agroforestry systems in Jiangsu, China. **Agroforest Systems**, 83: 89-100.

WICK, B.; TIESSEN, H.; MENEZES, R. S. C. 2000. Land quality changes following the conversion of the natural vegetation into silvopastoral systems in semi-arid NE Brazil. **Plant and Soil**. v. 222, p. 59-70.

YADAV, R. S. et al. 2010. Soil biological properties under different tree based traditional agroforestry systems in a semi-arid region of Rajasthan, India. **Agroforest Syst** 81:195–202.

ZHANG, C., LIU, G., XUE, S., SONG, Z. 2011. Rhizosphere soil microbial activity under different vegetation types on the Loess Plateau, China. **Geoderma**, 161: 115-125.

**ARTIGO 2**

---

**Comunidade de fungos micorrízicos arbusculares em pastagens  
consoiciadas e sombreadas sob condições semiáridas**

## Resumo

O sistema baseado no consórcio entre gramíneas e leguminosas tem sido uma das alternativas sugeridas para garantir a sustentabilidade das pastagens, porém poucos estudos enfatizam o impacto desta prática de manejo, em diferentes níveis de sombreamento, sobre a microbiota do solo. Objetivou-se nesse trabalho avaliar as mudanças causadas pelo consórcio entre gramínea (*Cenchrus ciliaris* L.) e leguminosa (*Clitoria ternatea* L.) e níveis de sombreamento sobre a quantidade de carboidratos em plantas de *C. ciliaris* e a comunidade de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) ao longo do tempo. Amostras de solos foram coletadas durante quatro períodos: antes do estabelecimento do consórcio (AEC), 120, 165 e 210 dias de cultivo, em quatro níveis de sombreamento 0 (a pleno sol), 26, 39 e 55%. O sombreamento não afetou a colonização micorrízica (CM) no período AEC. Aos 120 e 165 dias de cultivo foi encontrado maior CM nos menores níveis de sombreamento em sistema de consórcio, porém o número de glomerosporo era maior nos maiores níveis de sombreamento (39 e 55%). Aos 120 dias de cultivo, não houve diferenças em termos de carboidrato total (CT) nas parcelas sem e com consórcio, com exceção de 55% de sombreamento que apresentou os maiores valores. No período de 165 dias de cultivo, áreas a pleno sol apresentaram os maiores valores CT, carboidratos redutores (CR) e não redutores (CNR) em relação aos tratamentos de sombreamento; enquanto que a partir dos 210 dias constatou-se que o cultivo em consórcio promoveu aumento nos teores CR. Não foi constatada correlação entre os carboidratos totais, redutores e não redutores com os parâmetros de FMA, com exceção do carboidrato redutor que correlacionou-se negativamente com a colonização micorrízica. Foram detectadas 31 espécies de FMA, distribuídas em 11 gêneros, sendo as espécies de *Acaulospora* e *Glomus* predominantes em termos de abundância e frequência. O índice de Shannon mostrou maior diversidade em 55% de sombreamento, independente do sistema de cultivo. Diferenças na composição das espécies de FMA foram observadas aos 165 e 210 dias de cultivo. Conclui-se que a inclusão de *C. ternatea* em pastagens de *C. ciliaris* e o uso de sombreamento até 39% pode se tornar uma alternativa para melhorar a sustentabilidade das pastagens em regiões semiáridas, pois favorece a presença e a diversidade dos FMA, considerados benéficos às plantas.

Palavras-chave: diversidade micorrízica, *Cenchrus ciliaris* L., carboidratos, simbiose micorrízica, *Clitoria ternatea* L. e luminosidade

## Introdução

A produção animal em regiões semiáridas é limitada pela variação na qualidade e na oferta de forrageiras ao longo do ano, tendo em vista que as chuvas concentram-se em três meses do ano distribuindo-se de forma irregular. Estas pastagens são de grande relevância por fornecer 90% dos nutrientes exigidos pelos ruminantes (Euclides et al. 2010). Porém, durante o período de seca a oferta de alimento é reduzida e o material forrageiro disponível, em geral, apresenta baixa aceitação e digestibilidade, resultando em baixos índices zootécnicos (Silva et al. 2007). Além do efeito da seca, os solos da região semiárida são poucos férteis, de forma que nutrientes essenciais como o fósforo (P) e o nitrogênio (N) são pouco disponíveis, levando a baixa capacidade de regeneração dessas pastagens (Sampaio et al. 1995).

A palhada depositada sobre o solo e as raízes em pastagens tropicais é a principal forma de incorporação e aporte de N neste sistema (Cadisch et al. 1994). Em monocultivo de gramíneas, é constatado que a palhada proveniente destas plantas leva a imobilização do N para os micro-organismos do solo em decorrência de uma elevada relação C/N deste resíduo quando comparado aos sistemas de consórcio com leguminosas (Calvo et al. 2010).

Neste contexto, a utilização de sistemas integrados de leguminosas com gramíneas forrageiras pode promover a sustentabilidade e longevidade das pastagens. A vantagem dessa integração consiste na forma direta em fornecer o N fixado biologicamente pelas bactérias associadas às leguminosas para as gramíneas, aumentando a produtividade e indiretamente por reduzir custos com a aplicação de fertilizantes nitrogenados, ampliando a vida útil em relação aos sistemas convencionais (Barcellos et al. 2008).

Dentre os insumos biológicos presentes no solo que podem promover benefícios as plantas e podem ser impactados por estas práticas de manejo, destacam-se os fungos micorrízicos arbusculares (FMA). Estes micro-organismos contribuem fornecendo nutrientes, principalmente o N e o P à planta associada, enquanto a planta retribui fornecendo carbono (C) e energia para o fungo (Smith e Read, 2008). Os FMA permitem interligação entre as raízes de plantas vizinhas, por meio de uma rede micelial comum, favorecendo a transferência de C e nutrientes entre as plantas em sistema de consórcio (Walder et al. 2012), permitindo a exploração mais eficiente dos nutrientes do solo nos ecossistemas semiáridos (Barca et al. 2011). Além disso, essa prática de

manejo pode reduzir o impacto ocasionado pelos sistemas convencionais sobre a composição dos fungos em abundância e diversidade (Bainard et al. 2011).

Vários estudos têm mostrado que a inclusão de mais de uma espécie vegetal em sistemas agrícolas tem efeito positivo sobre a esporulação e comunidade dos FMA, aumentando sua riqueza (Burrown e Pflieger, 2002; Bainard et al. 2012; Hiiesalu et al. 2014); este aumento na diversidade dos FMA pode resultar em aumento na produtividade das plantas (van der Heijden et al. 1998).

O emprego desse sistema, além de trazer alterações na microbiota do solo, promove o sombreamento das plantas, atuando diretamente sobre os FMA (Bainard et al. 2011). O sombreamento pode reduzir a alocação de C da planta para o fungo, como foi constatado recentemente por Zheng et al. (2014), que observaram que o total de C alocado para raízes de *Allium vineale* L. colonizadas por *Claroideoglomus candidum* (Furazola, Kaonngbua & Bever) Oehl, G.A. Silva & Sierved. diminuiu com o sombreamento, ao passo que a proporção de C fornecido para raízes colonizadas por *Gigaspora margarita* W. N. Becker & I. R. Hall. não foi alterada pela intensidade de luz. Dessa forma, a redução na alocação de C ao fungo, devido ao sombreamento, pode reduzir a diversidade e eficiência da comunidade de FMA no estabelecimento das plantas em condições de campo.

A redução nas taxas fotossintéticas ocasionadas pelo sombreamento causa diminuição na formação dos carboidratos, principalmente na quantidade de açúcares solúveis presentes nas plantas. Os principais açúcares em gramíneas de origem tropical são a sacarose e o amido, e estão concentrados na base, tronco, estolões e rizomas (White et al.1973). Estudo realizado nos Estados Unidos por Belesky et al. (2006) demonstrou que o aumento do sombreamento em gramíneas de *Dactylis glomerata* L. reduziu os teores de carboidratos solúveis nesta planta.

Em planta de *Tabebuia avellanae* Lorentz ex. Griseb. foi constatado que maior colonização micorrízica (CM) era encontrada em área com 30% de sombreamento quando comparada à área com 96% de sombreamento (Moratelli et al., 2007). Por outro lado, Heilemariam et al. (2013) constataram que plantas de *Zea mays* L. sombreadas pelo cultivo em consórcio com *A. gummifera* (J. F. Gmel.) e *C. macrostachyus* (Hochst Ex Del.) tinham maior percentual de CM do que as cultivadas a pleno sol. Tais resultados demonstram que os efeitos decorrentes do sombreamento

podem variar de acordo com a planta estudada, a intensidade de sombreamento e as condições climáticas da região.

Além de influenciar no repasse de C, o sombreamento pode modular a abundância e produção de esporos de FMA, constatando-se redução na abundância de *Glomus eburneum* (= *Diversispora eburnea*) L. J. Kenn., J.C. Stutz & J.B. Morton em 75% de luz (25% de sombreamento) (Shi et al. 2014). Na Etiópia, região com características semiáridas, maior número de esporos de FMA foi encontrado na rizosfera de plantas de cafeeiro sob sombra de árvores leguminosas em comparação às de não leguminosa (Muleta et al. 2007).

Embora estudos mostrem que o consórcio e o sombreamento alteram a associação micorrízica e sua ocorrência, não há estudos sobre os efeitos, os níveis recomendados e possíveis impactos destes manejos no semiárido do nordeste brasileiro. Este estudo parte da hipótese de que as comunidades e alguns propágulos de FMA são influenciados pela introdução da *Clitoria ternatea* L. em pastagem de *Cenchrus ciliaris* L. em diferentes níveis de sombreamento e que ocorre uma dinâmica de sucessão das espécies de FMA ao longo do tempo. O objetivo deste estudo foi investigar o efeito de diferentes níveis de sombreamento sobre a comunidade de FMA na rizosfera de plantas consorciadas ou não. Para isso, foi testado o consórcio entre a gramínea *C. ciliaris* (capim buffel) e a leguminosa *C. ternatea* (cunhã) em quatro níveis de sombreamento (a pleno sol, 26, 39 e 55%), sob condições de campo.

## **Material e Métodos**

### **Local de estudo**

O estudo foi realizado em área experimental no *Campus* de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Vale do São Francisco, localizada no município de Petrolina, no semiárido de Pernambuco (09°09'S, 40°22'W). A temperatura do ar e precipitação média anual da região é de 27,1 °C e 431,8 mm/ano, respectivamente.

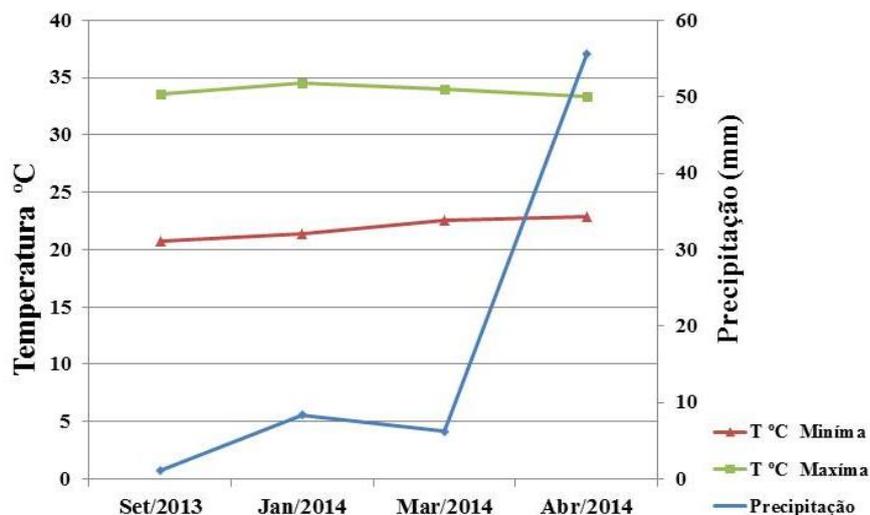
O clima da região é classificado segundo Köppen, como do tipo Bswh, com duas estações distintas: estação seca (maio a outubro) e chuvosa (novembro a abril). Dados de precipitação e temperaturas referentes aos períodos das coletas são apresentados na figura 1.

O experimento foi conduzido em uma área de pasto constituído com plantas de *Cenchrus ciliaris* L. cultivar Biloela, implantada há aproximadamente oito anos, sem nenhum trato cultural e encontrava-se em pousio. Os tratamentos de sombreamento foram instalados em 2011, sendo a área experimental submetida a quatro níveis de sombreamento: pleno sol (0%), e sob sombrites com intercepções de radiação de 26, 39 e 55%, representando de 1150, 950 e 700  $\mu\text{mol}$  de fóton/ $\text{m}^2/\text{s}$ , mensurados em cinco pontos de cada área entre o dossel das plantas e a tela com auxílio do equipamento Quanta Meter (Li-Cor, USA). Os sombrites foram fixados em estrutura de madeira, a uma altura de 1,80 m a partir do solo, seguindo a orientação leste/oeste, em uma distância de quatro metros entre elas, com as seguintes dimensões: 6,0 metros de largura por 30,0 metros de comprimento, dividido em três parcelas de dez metros que corresponderam aos blocos. Em 2013, antes da introdução da leguminosa na área, foi realizado um corte para uniformizar a altura do pasto (5,0 cm do solo) e coleta de solo para aplicação de adubação.

Foi aplicado na área 278 kg/ha de fósforo ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) na forma de superfosfato simples, 166 kg/ha nitrogênio na forma de ureia ( $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ ), 67 kg/ha de potássio (KCl) na forma de cloreto de potássio e 30 Kg/ha de micronutrientes (FTE) composto de 2,5% de boro (B), 7,5% de cobre (Cu), 12% de Manganês (Mn), 5% de zinco (Zn) e 6% de Ferro (Fe).

A área foi irrigada por meio de microaspersores diariamente por duas horas, com vazão média de 73,8 litros/hora dispostos em duas linhas distantes quatro metros uma da outra, com distância entre os microaspersores na linha de três metros, sendo aplicada uma lâmina d'água de 183 milímetros por ciclo.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados em parcelas subdivididas, sendo a parcela o nível de sombreamento e as subparcelas o consórcio, com três repetições. As subparcelas incluem o consórcio de *Cenchrus ciliaris* L. (capim buffel) combinado com a leguminosa *Clitoria ternatea* L. (cunhã) e monocultivo do capim buffel. Cada subparcela apresentava as seguintes dimensões: 3,5 m de largura e 4,0 m de comprimento, com espaçamento entre plantas e linhas para leguminosa de 0,25 m, onde foram colocados por parcela 195 covas com três sementes da cunhã.



Fonte: Estação Agrometeorológica do Bebedouro-Embrapa semiárido

**Figura 1.** Precipitações pluviométricas médias e temperaturas mínima e máxima no período de setembro de 2013 a abril de 2014, Petrolina-PE.

### **Análise das propriedades físico-químicas do solo**

As análises químicas do solo foram realizadas no Laboratório de Análise de Solo, SOLOAGRI, no Município de Petrolina-PE. Em cada período de coleta foram realizadas amostragens para caracterização química do solo (Tabela 1). As análises químicas do solo foram realizadas no Laboratório de Análise de Solo, SOLOAGRI, no Município de Petrolina-PE, sendo classificado com um solo do tipo arenoso, apresentando 83,54% de areia, 8,41% de argila e 8,04% de silte. Para determinar os teores de P, K e Na os mesmos foram extraídos com o extrator Mehlich-1 e  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  com KCL 1,0 N. O pH do solo foi determinado em solução de solo: água (1:2,5 v/v) e os teores de carbono (C) e matéria orgânica (MO) foram mensurados pelo método de Walkley-Black (Nelson e Sommers, 1996). A condutividade elétrica (C.E) foi obtida pela pasta de saturação e leituras da C.E em extrato de saturação. A capacidade de troca catiônica total (CTC) foi calculada como o somatório entre a soma de bases ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ) e a acidez potencial ( $\text{H}^+$   $\text{Al}^{3+}$ ).

**Tabela 1.** Caracterização química do solo, considerando os períodos de coleta e os níveis de sombreamento, em pastagens de *Cenchrus ciliaris* L. consorciadas ou não com plantas de *Clitoria ternatea* L.

Níveis de Sombreamento	pH	C.E	M.O	P	Na	Ca	Mg	CTC	SB	C
(%)	H <sub>2</sub> O	dS/m	%	mg/dm <sup>3</sup>	cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>				(V%)	%
<b>AEC</b>										
0	6,3	0,43	2,19	17,04	0,08	3,63	1,55	7,13	5,64	1,27
26	6,2	0,36	2,12	15,23	0,07	3,12	1,30	6,37	4,80	1,23
39	6,1	0,38	2,42	25,82	0,07	3,18	1,27	6,50	4,80	1,40
55	6,0	0,38	2,20	15,98	0,06	2,90	1,32	6,86	4,74	1,27
<b>120 dias de cultivo</b>										
(%)	pH	C.E	M.O	P	Na	Ca	Mg	CTC	SB	C
(%)	H <sub>2</sub> O	dS/m	%	mg/dm <sup>3</sup>	cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>				(V%)	%
<b>SEM</b>										
0	5,5	0,44	2,32	39,00	0,10	4,17	1,57	7,19	6,04	1,35
26	6,1	0,34	2,10	13,00	0,07	3,27	1,20	6,27	4,68	1,22
39	6,1	0,34	2,23	18,56	0,04	3,13	1,20	6,20	4,49	1,29
55	6,2	0,32	2,24	15,71	0,05	2,83	1,13	5,58	4,15	1,30
<b>COM</b>										
0	6,2	0,37	2,19	28,82	0,09	3,93	1,53	7,08	5,70	1,34
26	6,2	0,33	2,06	25,32	0,07	3,20	1,33	6,67	5,13	1,22
39	6,0	0,31	2,15	22,88	0,07	3,20	1,30	6,54	4,67	1,25
55	6,2	0,30	2,25	15,12	0,05	3,00	1,10	6,11	4,25	1,31
<b>165 dias de cultivo</b>										
(%)	pH	C.E	M.O	P	Na	Ca	Mg	CTC	SB	C
(%)	H <sub>2</sub> O	dS/m	%	mg/dm <sup>3</sup>	cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>				(V%)	%
<b>SEM</b>										
0	6,4	0,37	2,37	33,83	0,08	3,90	1,57	7,17	5,80	1,44
26	5,9	0,48	1,88	28,00	0,07	3,43	1,43	6,94	5,13	1,20
39	5,8	0,42	2,25	27,34	0,05	3,37	1,13	6,70	4,72	1,32
55	5,9	0,34	2,12	21,94	0,06	2,93	0,90	5,99	4,06	1,31
<b>COM</b>										
0	6,1	0,39	2,49	41,00	0,07	4,20	2,90	8,89	7,35	1,37
26	5,8	0,48	2,08	29,09	0,07	3,23	0,97	6,57	4,48	1,09
39	5,5	0,44	2,27	22,07	0,04	2,97	1,03	6,87	4,23	1,56
55	5,7	0,50	2,25	48,09	0,10	3,33	1,10	6,81	4,72	1,23
<b>210 dias de cultivo</b>										
(%)	pH	C.E	M.O	P	Na	Ca	Mg	CTC	SB	C
(%)	H <sub>2</sub> O	dS/m	%	mg/dm <sup>3</sup>	cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>				(V%)	%
<b>SEM</b>										
0	5,6	0,58	2,49	67,46	0,06	3,56	1,07	7,21	4,97	1,44
26	5,7	0,57	2,32	55,34	0,05	3,57	1,07	7,33	4,96	1,34
39	5,5	0,42	2,38	35,74	0,04	3,10	0,89	7,24	4,32	1,23
55	5,5	0,39	2,29	70,68	0,05	3,33	0,95	7,24	4,45	1,33
<b>COM</b>										
0	5,8	0,69	2,32	50,42	0,07	4,43	1,17	7,89	5,85	1,34
26	5,9	0,48	2,21	48,41	0,05	3,73	0,98	7,16	5,17	1,28
39	5,3	0,53	2,40	44,08	0,04	3,14	0,91	6,91	4,05	1,40
55	5,6	0,38	2,58	26,54	0,05	3,20	1,00	6,50	4,41	1,50

AEC- Antes do estabelecimento do consórcio; C.E. – condutividade elétrica; M.O. – matéria orgânica;

\*SEM: Monocultivo; \*COM: consórcio

### **Coletas das amostras**

As coletas foram realizadas em setembro de 2013 e janeiro, março e abril de 2014, em quatro momentos: antes e aos 120, 165 e 210 dias após o estabelecimento do consórcio. Para cada tratamento foram coletadas dentro da subparcela cinco amostras simples na camada de 0-20 cm para constituir uma amostra composta.

Para determinação dos carboidratos solúveis, redutores e não redutores de glicose, amostras de *Cenchrus ciliaris*, a partir da base da planta, foram coletadas em cinco pontos dentro de cada subparcela para formar uma amostra composta. De cada amostra coletada, foi utilizado o colmo da planta até a altura de 15,0 cm a partir da base do colmo, sendo descartada a parte aérea da planta. As amostras foram armazenadas a 4 °C para preservar e paralisar a atividade metabólica da planta visando a determinação dos carboidratos.

### **Extração de glomerosporos e Percentual de Colonização Micorrízica**

Para extração dos esporos do solo foi utilizado, a técnica de peneiramento úmido e centrifugação em água e sacarose (Gerdemann e Nicolson, 1963 e Jenkins, 1964 modificado) utilizando 2.500 rpm na centrifugação e sacarose 40%, procedendo-se a contagem dos esporos em placa canaletada, com o auxílio de estereomicroscópio (64x). Para avaliação da colonização micorrízica utilizou-se o método de intersecção dos quadrantes (Giovannetti e Mosse, 1980), após diafanização das raízes com KOH 10%, acidificação em HCl 1% e posterior coloração com azul de Trypan (0,05%) em lactoglicerol (Phillips e Hayman 1970).

### **Isolamento dos esporos FMA e identificação**

Para identificação das espécies de FMA, os glomerosporos extraídos do solo foram montados entre lâmina e lamínula contendo PVLG (álcool polivinílico em lactoglicerol) e PVLG + reagente de Melzer (1:1 v/v). Os glomerosporos foram observados ao microscópio para a identificação dos táxons a partir das características morfológicas. Para auxiliar na identificação foram realizadas consultas a página da *International Culture Collection of Vesicular Arbuscular Mycorrhizal Fungi* (<http://invam.caf.wvu.edu>), além da utilização de literaturas pertinentes.

### **Índices ecológicos**

Para análise da comunidade de FMA utilizou-se os índices de diversidade de Shannon, equitabilidade de Pielou e de dominância. O índice de Shannon ( $H'$ ) foi calculado pela equação:  $H' = - \sum (P_i \ln [P_i])$ ; onde  $P_i = n_i/N$ ,  $n_i$  = número de indivíduos de cada espécie  $i$ , e  $N$  = número total de indivíduos de todas as espécies. O índice de equitabilidade de Pielou ( $J'$ ) foi calculado pela equação  $J' = H'/\text{Log}(S)$ , onde  $H'$  é o valor do índice de Shannon e  $S$  é o número total de espécies. O índice de dominância ( $D$ ) foi obtido pela equação  $D = \sum (n_i (n_i - 1) / N(N - 1))$ , onde  $n_i$  = abundância da espécie  $i$  e  $N$  = abundância total.

### **Determinação dos Carboidratos Solúveis totais, redutores e não redutores de glicose**

Os carboidratos solúveis foram determinados de acordo com a metodologia de Dubois et al. (1956). Foram utilizados 20,0 g da planta, em seguida as amostras foram trituradas e homogeneizadas adicionando 60,0 mL de água destilada para produzir o extrato. Após a produção do extrato, foram utilizados 500,0  $\mu\text{L}$  da amostra e adicionados 500,0  $\mu\text{L}$  de fenol (80%). A mistura foi agitada intensivamente utilizando um misturador e, em seguida foram adicionados 2,5 mL de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). Após 10 minutos, a mistura foi submetida a uma leitura espectrofotométrica a 485 nm.

Os açúcares redutores e não redutores foram determinados segundo a técnica de Somogyi, adaptada por Nelson (1944) utilizando a mesma extração dos carboidratos totais, sendo as leituras realizadas em espectrofotometria a 540 nm. Ambas as análises utilizaram a glicose como referência padrão e os resultados foram expressos em mg/L.

### **Análise estatística**

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso em parcelas subdivididas, sendo os quatro níveis de sombreamento (0, 26, 39 e 55%) considerados como parcelas e o consórcio como subparcelas em três repetições. Os dados de número de glomerosporos foram transformados em  $\text{Log } x+1$  e a colonização micorrízica em arcoseno de  $x/100$ , em seguida submetidos à análise de variância (ANOVA) utilizando o *software* ASSISTAT. Diferenças estatísticas entre as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância. Os valores médios entre os carboidratos totais, redutores e não redutores foram correlacionados com os valores de número de

glomerosporos e colonização micorrízica, por meio da correlação de Pearson e avaliados pela ANOVA.

Os dados da comunidade de FMA (composição, abundância e frequência) foram obtidos pela identificação morfológica e contagem de indivíduos de cada espécie ao microscópio.

Análise de similaridade (ANOSIM), com base nos dados de abundância das espécies foi realizada para verificar diferenças entre os períodos de coletas (antes, aos 120, 165 e 210 dias após o estabelecimento do consórcio), utilizando o índice de Bray-Curtis. O valor de R indica se as diferenças estão mais relacionadas com a composição das espécies ( $R > 0,50$ ) ou com as diferenças na frequência e abundância das espécies ( $R < 0,50$ ). O percentual de dissimilaridade (SIMPER) foi determinado entre os grupos (sombreados com e sem leguminosa) e ao longo dos períodos de coletas (antes do estabelecimento, aos 120, 165 e 210 dias de cultivo). Para as análises de ANOSIM e SIMPER foi utilizado o programa PRIMER versão 6.0 (Clarke e Gorley, 2006).

## **Resultados**

Antes do estabelecimento do consórcio não foram observadas diferenças significativas entre os níveis de sombreamento para colonização micorrízica e número de glomerosporos. Somente a partir dos 120, 165 e 210 dias de cultivo foi possível observar diferenças entre os tratamentos de sombreamento e o consórcio sobre estes parâmetros (Tabela 2). Após o estabelecimento do consórcio (120 dias de cultivo) apenas em 39% de sombreamento foi constatada diferença significativa entre os tratamentos com e sem leguminosa, observando-se maior colonização micorrízica em área com cultivo consorciado. Nas parcelas sem leguminosa, maiores percentuais de colonização micorrízica são observados nos menores níveis de sombreamento, a partir de 39% houve redução significativa da colonização micorrízica. Porém, em áreas consorciadas somente em 55% de sombreamento observa-se redução significativa da colonização micorrízica.

De modo geral, aos 165 dias do cultivo, maiores valores de CM foram observados nas parcelas consorciadas em relação ao monocultivo, com exceção de 26% de sombreamento que não apresentou diferenças entre as parcelas sem e com leguminosa (Tabela 2). De forma similar ao observado aos 120 dias de cultivo, a partir de 39% de sombreamento houve redução significativa da colonização micorrízica em

áreas sem leguminosa; enquanto que nas áreas consorciadas não foram constatadas diferenças significativas entre os tratamentos de sombreamento.

No entanto, aos 210 dias de cultivo apenas em 55% de sombreamento houve diferença significativa entre os tratamentos sem e com leguminosa para a colonização micorrízica, com o sistema sem consórcio apresentando maior CM do que o tratamento consorciado (Tabela 2). No sistema consorciado, maiores percentuais de colonização micorrízica foram observados em 0%, 26% e 39% de sombreamento, diferindo significativamente do encontrado em 55% de sombreamento. Por outro lado, nas áreas a pleno sol em monocultivo, as plantas de capim buffel apresentavam maior CM, com o aumento do sombreamento os percentuais reduziram significativamente.

Com relação ao número de glomerosporos, não houve diferença significativa entre os níveis de sombreamento antes do estabelecimento do consórcio e aos 210 dias de cultivo (Tabela 2). Somente aos 120 dias de cultivo foi constatado efeito de interação entre as parcelas consorciadas e sombreadas, verificando-se maior número de glomerosporos nas áreas consorciadas em relação ao monocultivo. Maiores níveis de sombreamento foram favoráveis em aumentar o número de glomerosporos, em monocultivo este aumento ocorre com 55% de sombreamento, enquanto que em consórcio este efeito foi observado a partir de 39% de sombreamento. Aos 165 dias de cultivo, houve apenas efeito do sistema de consórcio para o número de glomerosporos (Tabela 2), constatando-se maior esporulação dos FMA no tratamento com consórcio. Entretanto, aos 210 dias de cultivo não foi observada diferença significativa entre os tratamentos sem e com leguminosa.

**Tabela 2.** Colonização micorrízica e número de glomerosporos antes do estabelecimento do consórcio (AEC), aos 120, 165 e 210 dias de cultivo de *Cenchrus ciliaris* L. e *Clitoria ternatea* L. sob diferentes níveis de sombreamento.

Níveis de sombreamento	Colonização Micorrízica (%)									
	AEC	120 dias de cultivo			165 dias de cultivo			210 dias de cultivo		
		SEM	COM	Média	SEM	COM	Média	SEM	COM	Média
0%	53,83 a	50,67 aA	55,00 aA	52,84	58,67 abB	70,67 aA	64,67	74,00 aA	71,33 aA	72,67
26%	52,50 a	67,00 aA	62,00 aA	64,50	67,00 aA	62,00 aA	64,50	55,00 bA	67,00 aA	61,00
39%	43,67 a	49,33 bB	58,33 aA	53,83	46,67 bB	59,00 aA	52,84	52,00 bA	63,67 aA	57,84
55%	37,83 ab	46,67 bA	41,00 bA	43,84	52,00 bB	72,67 aA	62,34	51,33 bA	46,00 bB	48,67
<b>Média</b>	46,88	51,42	54,08		56,09	66,09		58,08	62,00	
<b>Níveis de significância</b>										
<b>Consór.</b>	ns	ns			<0,01			ns		
<b>Sombreamento</b>	<0,01	<0,05			<0,05			<0,01		
<b>Consór.x Sombr.</b>	ns	<0,01			<0,05			<0,05		
<b>Número de Glomerosporos (50 g de solo)</b>										
	AEC	120 dias de cultivo			165 dias de cultivo			210 dias de cultivo		
		SEM	COM	Média	SEM	COM	Média	SEM	COM	Média
0%	68,83a	43,00bB	78,33bA	60,67	115,33	156,33	135,83	174,00	173,67	173,84
26%	81,50a	35,67bB	69,00bA	52,34	177,17	147,00	162,09	167,67	125,67	146,67
39%	88,00a	41,00bB	197,50aA	119,25	128,50	162,67	145,59	93,67	131,33	112,50
55%	85,00a	88,67aB	145,33aA	117,00	115,33	130,33	122,83	121,00	123,33	122,17
<b>Média</b>	80,83	52,09	122,54		134,08b	149,08a		139,09	138,50	
<b>Níveis de significância</b>										
<b>Consór.</b>	ns	<0,01			<0,01			ns		
<b>Sombreamento</b>	ns	<0,01			ns			ns		
<b>Consór.x Sombr.</b>	ns	<0,05			ns			ns		

Médias seguidas por diferentes letras minúsculas na coluna e maiúscula na linha diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 1% e 5% dentro de cada tempo. \*ns: não significativo. \*SEM= monocultivo; \*COM= consórcio

Para os valores de carboidrato total (CT), aos 120 dias de cultivo, não foi observada diferença significativa entre os tratamentos sem e com leguminosa, com exceção de 55% de sombreamento, no qual se constatou médias superiores no tratamento consorciado (Tabela 3). Apenas em área de monocultivo foi possível verificar efeito do sombreamento sobre a quantidade de carboidrato total, observando-se redução dos valores de CT com o aumento do sombreamento.

Aos 165 dias de cultivo, houve apenas efeito do sombreamento sobre o carboidrato total, redutor e não redutor (Tabela 3), em geral, maiores valores dos carboidratos são encontrados em áreas a pleno sol ocorrendo redução gradual com o aumento nos níveis de sombreamento.

Aos 210 dias de cultivo, áreas consorciadas a pleno sol apresentaram maior quantidade de CR em relação à parcela em monocultivo. Nos tratamentos sem e com leguminosa, áreas a pleno sol também foram mais favoráveis na produção do CR em comparação as parcelas sombreadas (Tabela 3).

**Tabela 3.** Carboidratos totais (CT), redutores (CR) e não redutores (CNR) aos 120, 165 e 210 dias de cultivo de *Cenchrus ciliaris* L. em consórcio com *Clitoria ternatea* L sob diferentes níveis de sombreamento.

Níveis de sombreamento	Carboidrato Total-CT (mg/mL)								
	120 dias de cultivo			165 dias de cultivo			210 dias de cultivo		
	SEM	COM	Média	SEM	COM	Média	SEM	COM	Média
0%	6,10 aA	6,09 aA	6,10	4,18	4,69	4,43a	3,32	3,26	3,29
26%	5,65 abA	5,62 aA	5,63	3,82	4,15	3,98ab	2,94	3,06	3,00
39%	5,28 abA	5,48 aA	5,38	3,96	3,38	3,67bc	3,12	3,24	3,18
55%	4,50 bB	6,04 aA	5,27	3,66	3,36	3,51c	3,11	3,01	3,06
<b>Média</b>	5,38	5,59		3,91	3,90		3,12	3,14	
<b>Níveis de significância</b>									
<b>Consór.</b>	<0,05			ns			ns		
<b>Sombreamento</b>	ns			<0,01			ns		
<b>Consór.x Sombr.</b>	<0,05			ns			ns		
<b>Carboidrato redutor –CR (mg/mL)</b>									
Níveis de sombreamento	120 dias de cultivo			165 dias de cultivo			210 dias de cultivo		
	SEM	COM	Média	SEM	COM	Média	SEM	COM	Média
	0%	1,80	1,77	1,79	1,32	1,35	1,33a	1,36 aB	1,41 aA
26%	1,60	1,57	1,59	1,32	1,32	1,34ab	1,35 aA	1,31 bA	1,33
39%	1,56	1,58	1,57	1,30	1,30	1,30bc	1,25 bA	1,27 bA	1,26
55%	1,46	1,78	1,62	1,30	1,30	1,30c	1,23 bA	1,26 bA	1,26
<b>Média</b>	1,61	1,68		1,31	1,32		1,30	1,31	
<b>Níveis de significância</b>									
<b>Consór.</b>	ns			ns			ns		
<b>Sombreamento</b>	ns			<0,01			<0,01		
<b>Consór.x Sombr.</b>	ns			ns			<0,05		
<b>Carboidrato não redutor- CNR (mg/mL)</b>									

	120 dias de cultivo			165 dias de cultivo			210 dias de cultivo		Média
	SEM	COM	Média	SEM	COM	Média	SEM	COM	
0%	4,30	4,32	4,31	2,86	3,34	3,10a	1,96	1,85	1,91
26%	4,05	4,05	4,05	2,50	2,83	2,60ab	1,59	1,75	1,67
39%	3,72	3,90	3,81	2,66	2,08	2,37ab	1,87	1,97	1,92
55%	3,04	4,26	3,65	2,36	2,06	2,21b	1,84	1,75	1,80
<b>Média</b>	3,78	4,13		2,60	2,58		1,82	1,83	
<b>Níveis de significância</b>									
<b>Consór.</b>	ns			ns			ns		
<b>Sombreamento</b>	ns			<0,05			ns		
<b>Consór.x Sombr.</b>	ns			ns			ns		

*Médias seguidas por diferentes letras minúsculas na coluna e maiúscula na linha diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 1% e 5% dentro de cada tempo. \*ns: não significativo. \*SEM= monocultivo; \*COM= consórcio*

Foram testados os coeficientes de correlação de Pearson entre os carboidratos totais (CT), redutores (CR) e não redutores (CNR) e variáveis micorrízicas; em geral, a maioria dos atributos (NG, CM) não se correlacionou com CT, CR e CNR, com exceção de CR que apresentou correlação negativa e significativa com a CM (Tabela 4).

**Tabela 4.** Coeficiente de correlação de Pearson entre a colonização micorrízica (CM) e número de glomerosporos (NG) e carboidratos totais (CT), redutores (CR) e não redutores (CNR) em pasto de *Cenchrus ciliaries* L consorciado os não com *Clitoria ternatea*.

	CM	NG
CT	-0,20ns	-0,18ns
CR	-0,34**	-0,25ns
CNR	-0,20ns	-0,17ns

\*\*Significativo a 1% de probabilidade.

Foram identificados 31 táxons de FMA pertencentes a 12 gêneros: *Acaulospora*, *Glomus*, *Gigaspora*, *Dentiscutata*, *Cetraspora*, *Septoglomus*, *Sclerocystis*, *Ambispora*, *Scutellospora*, *Fuscutata*, *Intraornatospora* e *Racocetra* (Tabela 4).

*Acaulospora* foi o gênero com maior número de espécies (9), seguido por *Glomus* (4), *Gigaspora* (4) e *Dentiscutata* (3). *Cetraspora*, *Sclerocystis* e *Septoglomus* apresentaram duas espécies cada; enquanto que para os demais gêneros apenas uma espécie foi identificada (*Ambispora*, *Scutellospora*, *Fuscutata*, *Intraornatospora* e *Racocetra*).

A abundância e a frequência das espécies variaram entre os tratamentos de sombreamento e a presença ou ausência da leguminosa (Tabela 5). *Acaulospora scrobiculata*, *Acaulospora* sp. 1, *Ambispora appendicula*, *Cetraspora pellucida*, *Glomus* sp.1, *Glomus* sp.2, *Glomus* sp.3, *Glomus* sp.4 e *Racocetra gregaria* ocorreram em todas as áreas, mas com frequências e abundância diferentes entre os níveis de sombreamento e parcelas sem e com consórcio; *Acaulospora scrobiculata* e *Acaulospora* sp.1 foram mais abundantes e frequentes em 55% de sombreamento, porém, *A. scrobiculata* teve sua maior frequência na parcela em monocultivo e aumento na abundância na área consorciada; enquanto que *Acaulospora* sp.1 foi mais abundante e frequente nas parcelas em consórcio. Por outro lado, *A. appendicula* apresentou maior

ocorrência na parcela consorciada e com 39% de sombreamento, mas com aumento na abundância em 55% de sombreamento sem leguminosa. *Cetraspora pelluciada* foi mais frequente e abundante nos maiores níveis de sombreamento com a presença da leguminosa.

Todas as espécies de *Glomus*, foram mais abundantes e ocorrentes em 26% de sombreamento consorciado, com exceção de *Glomus* sp. 1 que apresentou aumento na abundância relativa e frequência nas parcelas em consórcio com 39% de sombreamento; enquanto que a abundância e frequência de *R. gregaria* foi maior na parcela a pleno sol com leguminosa (Tabela 5). Algumas espécies foram exclusivas de um dos tratamentos e apresentaram baixa abundância relativa e frequência de ocorrência. *Acaulospora* aff. *bireticulata*, *Acaulospora* aff. *denticulata* e *A. elegans* não apresentaram diferenças em termos de abundância e frequência entre as parcelas sem e com consórcio, com exceção de *Acaulospora* aff. *bireticulata* e *Gigaspora* sp., porém, estas espécies foram exclusivas em 0%, 39% e 55% de sombreamento. Por outro lado, *Intraornatospora intraornata*, *Scutellospora calospora* e *Septoglomus* aff. *deserticola* foram exclusivas das áreas consorciadas, mas cada espécie foi dependente do nível de sombreamento (Tabela 5).

Antes e aos 120 dias do estabelecimento do consórcio, maior abundância e frequência foram de *Acaulospora* e *Glomus*; aos 165 dias de cultivo, além destes dois gêneros, *Dentiscutata* também foi abundante e frequente e aos 210 dias de cultivo, os gêneros *Acaulospora* e *Glomus* mantêm sua frequência e abundância, juntamente com *Gigaspora* (Tabela 6), demonstrando a dinâmica na frequência e abundância dos FMA ao longo do tempo nos sistemas de pastagem estudados.

Apenas *A. excavata*, *A. mellea*, *A. scrobiculata*, *Acaulospora* sp.1, *Ambispora appendicula*, *Cetraspora pellucida*, *Glomus* sp.1, *Glomus* sp.2, *Glomus* sp.3 e *Glomus* sp. 4 ocorreram em todos os períodos de coleta independente da presença da leguminosa.

Cinco espécies (*Acaulospora* aff. *bireticulata*, *Acaulospora* aff. *denticulata*, *Sclerocystis taiwanensis* e *Septoglomus* aff. *deserticola*) foram detectadas apenas aos 165 dias de cultivo; enquanto que duas espécies (*Gigaspora* sp. e *Scutellospora calospora*) ocorreram exclusivamente aos 210 dias de cultivo.

**Tabela 5.** Abundância relativa (AR) e frequência de ocorrência (FO) de espécies de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) nos tratamentos de sombreamento sem e com a presença da leguminosa.

Espécies de FMA	0%				26%				39%				55%			
	SEM		COM		SEM		COM		SEM		COM		SEM		COM	
	AR	FO	AR	FO	AR	FO	AR	FO	AR	FO	AR	FO	AR	FO	AR	FO
<i>Acaulospora</i> aff <i>bireticulata</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	1,04
<i>Acaulospora</i> aff <i>denticulata</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	1,04	0,02	1,04	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Acaulospora elegans</i> Trappe & Gerd.,	0,02	1,04	0,02	1,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Acaulospora excavata</i> Ingleby & C. Walker	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	2,08	0,00	0,00	0,04	2,08	0,10	2,08	0,42	6,25	0,34	3,13
<i>Acaulospora mellea</i> Spain & N.C. Schenck	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	1,04	0,06	3,13	0,00	0,00	0,02	1,04	0,02	1,04
<i>Acaulospora morrowiae</i> Spain & N.C. Schenck	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	1,04	0,00	0,00	0,02	1,04	0,02	1,04	0,00	0,00
<i>Acaulospora rehmi</i> Sieverd. & S. Toro	0,00	0,00	0,06	1,04	0,00	0,00	0,06	2,08	0,02	1,04	0,00	0,00	0,15	2,08	0,08	4,17
<i>Acaulospora scrobiculata</i> Trappe	0,65	6,25	0,46	4,17	1,56	10,41	2,70	7,29	0,79	7,29	1,16	8,33	2,87	10,42	3,94	8,33
<i>Acaulospora</i> sp.	0,19	4,17	0,02	1,04	0,10	2,08	0,69	6,25	0,15	4,17	0,15	3,13	0,53	7,29	1,52	7,29
<i>Ambispora appendicula</i> (Spain, Sieverd. & N.C. Schenck) C. Walker	0,04	2,08	0,06	3,12	0,04	2,08	0,16	4,16	0,02	1,04	0,08	4,17	0,40	2,08	0,02	1,04
<i>Cetraspora pellucida</i> (T.H. Nicolson & N.C. Schenck) Oehl, F.A Souza & Sieverd.,	0,08	3,12	0,21	3,12	0,12	3,13	0,04	2,08	0,06	2,08	0,19	6,25	0,08	3,13	0,23	6,25
<i>Cetraspora</i> sp. Creme	0,00	0,00	0,06	1,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	1,04	0,00	0,00
<i>Dentiscutata scutata</i> (C. Walker & Dieder.) Sieverd., F.A. Souza & Oehl	0,04	2,08	0,04	2,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	1,04
<i>Dentiscutata cerradensis</i> (Spain & J. Miranda) Sieverd., F.A. Souza & Oehl	0,06	3,12	0,02	1,04	0,00	0,00	0,02	1,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	1,04
<i>Dentiscutata</i> sp	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	1,04	0,00	0,00	0,02	1,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Fuscutata heterogama</i> Oehl, F.A. Souza, L.C. Maia & Sieverd.,	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	1,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,97	2,08



**Tabela 6.** Abundância relativa (AR) e frequência de ocorrência (FO) de espécies de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) ao longo dos períodos de coleta.

Espécies de FMA	Antes do estabelecimento da leguminosa		120 dias de cultivo		165 dias de cultivo		210 dias de cultivo	
	AR	FO	AR	FO	AR	FO	AR	FO
<i>Acaulospora aff bireticulata</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	1,04	0,00	0,00
<i>Acaulospora aff denticulata</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	2,08	0,00	0,00
<i>Acaulospora elegans</i> Trappe & Gerd.,	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	2,08
<i>Acaulospora excavata</i> Ingleby & C. Walker	0,12	5,21	0,34	4,17	0,17	2,08	0,34	4,17
<i>Acaulospora mellea</i> Spain & N.C. Schenck	0,02	1,04	0,02	1,04	0,02	1,04	0,06	3,13
<i>Acaulospora morrowiae</i> Spain & N.C. Schenck	0,00	0,00	0,04	2,08	0,02	1,04	0,00	0,00
<i>Acaulospora rehmi</i> Sieverd. & S. Toro	0,00	0,00	0,19	4,17	0,13	4,17	0,06	2,08
<i>Acaulospora scrobiculata</i> Trappe	2,09	15,63	5,94	14,58	3,60	17,71	2,47	14,58
<i>Acaulospora</i> sp.	0,51	10,42	1,79	9,38	0,82	8,33	0,23	7,29
<i>Ambispora appendicula</i> (Spain, Sieverd. & N.C. Schenck) C. Walker	0,11	4,17	0,11	3,13	0,46	5,21	0,17	7,29
<i>Cetraspora pellucida</i> (T.H. Nicolson & N.C. Schenck) Oehl, F.A Souza & Sieverd.,	0,29	6,25	0,44	12,5	0,23	7,29	0,06	3,13
<i>Cetraspora</i> sp. Creme	0,00	0,00	0,06	1,04	0,00	0,00	0,02	1,04
<i>Dentiscutata scutata</i> (C. Walker & Dieder.) Sieverd., F.A. Souza & Oehl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	1,04	0,08	4,17
<i>Dentiscutata cerradensis</i> (Spain & J. Miranda) Sieverd., F.A. Souza & Oehl	0,08	4,17	0,02	1,04	0,02	1,04	0,00	0,00
<i>Dentiscutata</i> sp	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	1,04	0,02	1,04
<i>Fuscutata heterogama</i> Oehl, F.A. Souza, L.C. Maia & Sieverd.,	0,00	0,00	0,67	2,08	0,38	1,04	0,00	0,00
<i>Gigaspora margarita</i> W.N. Becker & I.R. Hall	0,00	0,00	0,02	1,04	0,00	0,00	0,17	4,17
<i>Gigaspora decipiens</i> Hall & Abbott	0,04	2,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	3,13
<i>Gigaspora gigantea</i> (Nicol. & Gerd.) Gerd. & Trappe	0,00	0,00	0,06	2,08	0,02	1,04	0,06	3,13
<i>Gigaspora</i> sp	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	1,04
<i>Glomus</i> sp 1	0,35	8,33	0,44	7,29	0,42	10,42	0,70	9,38
<i>Glomus</i> sp2	0,08	2,08	0,95	12,5	0,25	4,17	1,45	12,50
<i>Glomus</i> sp 3	1,96	15,63	3,54	14,58	1,81	9,36	0,13	1,04

<i>Glomus</i> sp 4	1,56	11,46	7,73	22,92	26,21	25,00	28,11	25,00
<i>Intraornatospora intraornata</i> (B.T. Goto & Oehl) B.T. Goto, Oehl & G.A. Silva	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	1,04	0,00	0,00
<i>Racocetra gregaria</i> (N.C. Schenck & T.H. Nicolson) Oehl, F.A. Souza & Sieverd.	0,08	4,17	0,21	8,33	0,17	6,25	0,08	4,17
<i>Sclerocystis sinuosa</i> (Gerd. & B.K. Bakshi) R.T. Almeida & N.C. Schenck	0,00	0,00	0,02	1,04	0,34	8,33	0,08	3,13
<i>Sclerocystis taiwanensis</i> (Wu & Chen) Almeida & Schenck	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	1,04	0,00	0,00
<i>Scutellospora calospora</i> (Nicol. & Gerd.)Walker & Sanders	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	1,04
<i>Septoglomus</i> aff <i>constrictum</i>	0,00	0,00	0,06	1,04	0,02	1,04	0,21	1,04
<i>Septoglomus</i> aff <i>deserticola</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	1,04	0,00	0,00

Considerando-se o índice de Shannon ( $H'$ ), maior diversidade de FMA foi encontrada em 55% de sombreamento, independente do sistema de consórcio (Tabela 7). Além disso, foi constatado que áreas mais sombreadas (55%) foram mais equitativas, observando-se maior valor na parcela em monocultivo. Ao contrário, a dominância de espécies foi maior em 26% de sombreamento e a menor em 55% de sombreamento independente do sistema de consórcio (Tabela 7).

Ao longo dos períodos de coletas, o índice de Shannon e a equitabilidade de Pielou apresentaram os maiores valores antes do estabelecimento do consórcio e aos 120 dias de cultivos quando comparado aos 165 e 210 dias de cultivo (Tabela 7), sendo observada maior dominância de espécies aos 210 dias de cultivo.

**Tabela 7.** Riqueza das espécies (S), índice de diversidade de Shannon ( $H'$ ), equitabilidade de Pielou ( $J'$ ) e dominância (D) em áreas de pastagens de *Cenchrus ciliaris* L. sem ou com *Clitoria ternatea* L. e ao longo dos períodos de coletas.

<b>Tratamentos</b>	<b>S</b>	<b>H'</b>	<b>J'</b>	<b>D</b>
<b>0% (SEM)</b>	16	1,028	0,3708	0,3985
<b>0% (COM)</b>	19	1,262	0,4286	0,4854
<b>26% (SEM)</b>	14	1,232	0,4669	0,5464
<b>26% (COM)</b>	18	1,263	0,4369	0,5556
<b>39% (SEM)</b>	18	1,11	0,3841	0,4452
<b>39% (COM)</b>	15	1,116	0,4122	0,4793
<b>55% (SEM)</b>	17	1,652	0,5831	0,3076
<b>55% (COM)</b>	19	1,608	0,5463	0,3127
<b>Tratamentos</b>	<b>S</b>	<b>H'</b>	<b>J'</b>	<b>D</b>
<b>AEC</b>	13	1,834	0,7152	0,2062
<b>120 dias de cultivo</b>	20	1,857	0,6199	0,2187
<b>165 dias de cultivo</b>	25	1,107	0,3438	0,5636
<b>210 dias de cultivo</b>	23	0,878	0,2803	0,6649

AEC- antes do estabelecimento do consórcio; SEM: Monocultivo; COM: Consórcio

A análise SIMPER revelou quais as espécies de FMA contribuíram para a dissimilaridade entre os sistemas de consórcio (com e sem leguminosa) nos diferentes níveis de sombreamento (Tabela 8). Os táxons *Glomus* sp.4 (28,83%), *Glomus* sp.3 (12,3%) e *Acaulospora scrobiculata* (10,68) foram as espécies que mais contribuíram para diferir as áreas sem e com a presença da leguminosa a pleno sol (0%), com média de dissimilaridade de 61,08%. Enquanto, *Glomus* sp.4 (30,16), *Acaulospora scrobiculata* (15,49) e *Glomus* sp.3 (14,81) contribuíram para dissimilaridade entre as

áreas com e sem consórcio em 26% de sombreamento, tanto em monocultivo como consorciado, apresentando média de dissimilaridade de 63,63%. Similar as áreas a pleno sol, as espécies que mais contribuíram para dissimilaridade foram *Glomus* sp.4 (31,99%), *Glomus* sp.3 (12,7%) e *Acaulospora scrobiculata* (11,96%) com média de 61,95% em área com 39% de sombreamento. No entanto, em 55% de sombreamento a média de dissimilaridade foi de 58,93%, sendo *Glomus* sp.4 (22,32%), *Acaulospora scrobiculata* (16,73%) e *Acaulospora* sp. (9,27%) as espécies que mais contribuíram para diferenças entre os tratamentos sem e com consórcio (Tabela 8).

**Tabela 8.** Contribuição das espécies de FMA para dissimilaridade (SIMPER) entre os grupos nas áreas com e sem leguminosa nos diferentes níveis de sombreamento.

Dissimilaridade - Grupos nas áreas sombreadas sem e com consórcio					
0%			26%		
Sem e Com			Sem e Com		
	Contr. %	Cum. %		Contr. %	Cum. %
<i>Glomus</i> sp. 4	28,83	28,83	<i>Glomus</i> sp. 4	30,16	30,16
<i>Glomus</i> sp. 3	12,30	41,13	<i>Acaulospora scrobiculata</i>	15,49	45,65
<i>Acaulospora scrobiculata</i>	10,68	51,81	<i>Glomus</i> sp. 3	14,81	60,46
<i>Acaulospora</i> sp.	5,62	57,43	<i>Glomus</i> sp. 2	8,09	68,55
<i>Glomus</i> sp. 1	5,46	62,89	<i>Acaulospora</i> sp.	6,95	75,50
<i>Cetraspora pellucida</i>	5,24	68,13	<i>Glomus</i> sp. 1	6,49	81,99
<i>Glomus</i> sp. 2	5,19	73,32	<i>Ambispora appendicula</i>	3,73	85,72
<i>Racocetra gregaria</i>	5,12	78,44	<i>Cetraspora pellucida</i>	2,87	88,59
<i>Glomus sinuosum</i>	3,33	81,77	<i>Glomus sinuosum</i>	2,18	90,76
<i>Ambispora appendicula</i>	2,86	84,63			
<i>Dentiscutata cerradensis</i>	2,79	87,42			
<i>Gigaspora gigantea</i>	2,48	89,90			
<i>Dentiscutata scutata</i>	2,39	92,29			
<b>Média de dissimilaridade</b>	61,08%		<b>Média de dissimilaridade</b>	63,63%	
39% Sem e Com			55% Sem e Com		
	Contr. %	Cum. %		Contr. %	Cum. %
<i>Glomus</i> sp. 4	31,99	31,99	<i>Glomus</i> sp. 4	22,32	22,32
<i>Glomus</i> sp. 3	12,70	44,69	<i>Acaulospora scrobiculata</i>	16,73	39,06
<i>Acaulospora scrobiculata</i>	11,96	56,65	<i>Acaulospora</i> sp.	9,27	48,33
<i>Glomus</i> sp.1	8,32	64,97	<i>Glomus</i> sp.3	7,73	56,06
<i>Glomus</i> sp.2	7,46	72,43	<i>Acaulospora excavata</i>	6,56	62,62
<i>Acaulospora</i> sp ornamentada	5,14	77,57	<i>Glomus</i> sp.2	5,10	67,72
<i>Cetraspora pellucida</i>	4,66	82,23	<i>Glomus</i> sp.1	4,76	72,48
<i>Acaulospora excavata</i>	3,14	85,37	<i>Cetraspora pellucida</i>	4,55	77,03
<i>Ambispora appendicula</i>	2,94	88,31	<i>Fuscutata heterograma</i>	3,96	80,99
<i>Acaulospora mellea</i>	2,09	90,40	<i>Ambispora appendicula</i>	3,29	84,27

		<i>Racocetra gregaria</i>	3,12	87,28
		<i>Acaulospora rehmi</i>	2,95	90,23
<b>Média de dissimilaridade</b>	61,95%	<b>Média de dissimilaridade</b>	58,93%	

Contr.% = percentual de contribuição de cada espécie. Cum.% = percentual de contribuição de acumulação para similaridade/dissimilaridade entre grupos. \*SEM: Monocultivo; \*COM: Consórcio

A análise de similaridade (ANOSIM) indicou que os períodos de coleta diferiram entre si ( $R$  global= 0,33,  $p < 0,01$ ), com exceção do grupo 165 e 210 dias de cultivo (Tabela 9). De acordo com análise ANOSIM, valores de  $R$  acima de 0,5 indicam diferenças em relação à composição da comunidade e menores que 0,5 mudanças em relação à abundância e frequência. A análise SIMPER demonstrou que ao longo dos períodos de coletas as espécies que mais contribuíram para dissimilaridade entre os tempos foram *Glomus* sp.4, *Acaulospora scrobiculata* e *Glomus* sp.3 (Tabela 10). Os maiores percentuais de dissimilaridade foram observados quando se comparou o período antes do estabelecimento do consórcio com o estabelecimento após 165 e 210 dias, respectivamente com 85,36 e 87,25%.

**Tabela 9.** Análise de similaridade (ANOSIM) entre os períodos de coletas antes do estabelecimento do consórcio, aos 120, 165 e 210 dias de cultivo.

<b>Grupos</b>	<b>R</b>	<b>p</b>
Antes do estabelecimento do consórcio, 120 dias de cultivo	0,3	0,01**
Antes do estabelecimento do consórcio, 165 dias de cultivo	0,6	0,01**
Antes do estabelecimento do consórcio, 210 dias de cultivo	0,7	0,01**
120 dias de cultivo, 165 dias de cultivo	0,3	0,01**
120 dias de cultivo, 210 dias de cultivo	0,3	0,01**
165 dias de cultivo, 210 dias de cultivo	0,1	ns

\*\*Significativo a 0,01% de probabilidade

**Tabela 10.** Contribuição das espécies (SIMPER) de FMA para dissimilaridade entre os grupos ao longo dos períodos de coletas.

<b>Dissimilaridade - Grupos ao longo dos períodos de coletas</b>		
<b>Antes do estabelecimento e aos 120 dias de cultivo</b>		
	<b>Contr.%</b>	<b>Cum.%</b>
<i>Glomus</i> sp.4	35,20	35,20
<i>Acaulospora scrobiculata</i>	22,11	57,30
<i>Glomus</i> sp.3	17,01	74,31
<i>Acaulospora</i> sp.	6,57	80,89
<i>Glomus</i> sp.2	4,37	85,26
<i>Glomus</i> sp.1	3,30	88,56
<i>Cetraspora pellucida</i>	2,84	91,40
<b>Média de dissimilaridade: 79,20</b>		

<b>Antes do estabelecimento e aos 165 dias de cultivo</b>		
	<b>Contr.%</b>	<b>Cum.%</b>
<i>Glomus</i> sp.4	65,93	65,93
<i>Acaulospora scrobiculata</i>	11,51	77,44
<i>Glomus</i> sp.3	8,37	85,81
<i>Acaulospora</i> sp.	3,17	88,98
<i>Glomus</i> sp.1	1,83	90,81
<b>Média de dissimilaridade: 85,36</b>		
<b>120 dias e 165 dias de cultivo</b>		
	<b>Contr.%</b>	<b>Cum.%</b>
<i>Glomus</i> sp.4	51,43	51,43
<i>Acaulospora scrobiculata</i>	17,04	68,47
<i>Glomus</i> sp.3	11,02	79,49
<i>Acaulospora</i> sp.	4,91	84,40
<i>Glomus</i> sp.2	2,80	87,20
<i>Fusicucata heterograma</i>	2,26	89,46
<i>Glomus</i> sp.1	1,82	91,28
<b>Média de dissimilaridade: 65,27</b>		
<b>Antes do estabelecimento e aos 210 dias de cultivo</b>		
	<b>Contr.%</b>	<b>Cum.%</b>
<i>Glomus</i> sp.4	68,25	68,25
<i>Acaulospora scrobiculata</i>	9,13	77,38
<i>Glomus</i> sp.3	6,56	83,94
<i>Glomus</i> sp.2	3,74	87,68
<i>Glomus</i> sp.1	2,52	90,20
<b>Média de dissimilaridade: 87,25</b>		
<b>120 dias e aos 210 dias de cultivo</b>		
	<b>Contr.%</b>	<b>Cum.%</b>
<i>Glomus</i> sp.4	51,80	51,80
<i>Acaulospora scrobiculata</i>	16,32	68,12
<i>Glomus</i> sp.3	10,03	78,15
<i>Glomus</i> sp.2	4,78	82,93
<i>Acaulospora</i> sp.	4,05	86,98
<i>Glomus</i> sp.1	2,47	89,45
<i>Acaulospora excavata</i>	1,90	91,35
<b>Média de dissimilaridade: 65,29</b>		
<b>165 dias e 210 dias dissimilaridade</b>		
	<b>Contr.%</b>	<b>Cum.%</b>
<i>Glomus</i> sp.4	55,40	55,40
<i>Acaulospora scrobiculata</i>	14,50	69,91
<i>Glomus</i> sp.3	6,68	76,59
<i>Glomus</i> sp.2	4,40	80,99
<i>Acaulospora</i> sp.	3,12	84,10
<i>Glomus</i> sp.1	2,82	86,92
<i>Acaulospora excavata</i>	2,05	88,98
<i>Ambispora appendicula</i>	1,87	90,85
<b>Média de dissimilaridade: 45,34</b>		

*Contr.% = percentual de contribuição de cada espécie. Cum.% = percentual de contribuição de acumulação para similaridade/dissimilaridade entre grupos.*

## **Discussão**

### **Colonização micorrízica e número de glomerosporos em sistemas consorciados e sombreados**

Plantas de capim buffel (*Cenchrus ciliaris*) são moderadamente colonizadas por FMA, alcançando percentual médio de 42% em experimento sob condições controladas (Fraco e Cano, 2006). Este valor é similar ao obtido no presente estudo, com valor médio de 46,95% de colonização micorrízica antes do estabelecimento do consórcio. Após o estabelecimento do consórcio o aumento no sombreamento reduziu a colonização micorrízica em ambos os sistemas. Estudos mostram que o aumento na intensidade de luz correlaciona-se positivamente com a CM e que níveis acima de 55% de sombreamento reduzem este parâmetro (Ferguson e Menge, 1982; Moratelli et al. 2007), visto que elevados níveis de sombreamento tornam os fotossíntatos limitantes, de forma que a planta reduz o fornecimento de C para garantir sua sobrevivência (Fuzy et al. 2014). Esta redução, segundo Sukla et al. (2009) pode ser explicada pelo fato de os fungos obterem C a partir da planta associada e depender da capacidade fotossintética e da translocação de fotossíntatos para raiz, de forma a suprir a necessidade do fungo. Outro fator que pode ter contribuído para o aumento da colonização micorrízica nas parcelas a pleno sol seria o aumento da temperatura do solo que estimula a colonização intrarradicular e o desenvolvimento do micélio externo (Heinemeyer e Fitter 2004).

Ao longo dos períodos estudados constata-se que houve aumento no percentual de colonização micorrízica, de forma mais acentuada no sistema em consórcio, confirmando os resultados obtidos por Miranda et al. (2010) na região Amazônica que demonstraram o favorecimento da colonização micorrízica em plantas de *Arachis pintoi* L. consorciada com *Brachiaria brizanta* e *B. humidicola*. Os autores deste estudo atribuíram o aumento da colonização micorrízica nas raízes de leguminosas ao favorecimento da multiplicação dos FMA proporcionado pelas gramíneas consorciadas. Na Etiópia, plantas de *Zea mays* L. apresentavam maiores percentuais de colonização micorrízica quando estavam em consórcio com espécies arbóreas de leguminosas (Heilemariam et al. 2013), esse maior percentual, segundo os autores, se deve a maior concentração de raízes finas perto do tronco das árvores.

Vários fatores podem ter contribuído para o aumento da colonização micorrízica nas áreas consorciadas no presente estudo, como maior número de glomerosporos passíveis de iniciar a colonização micorrízica e quantidade de raízes e exsudados radiculares disponíveis para colonização micorrízica. Aliado a isto, a permanência ao longo do tempo de algumas espécies de FMA pertencentes às famílias Acaulosporaceae, Glomeraceae e Racocetraceae e possivelmente em decorrência da dominância de *Glomus* sp. 4, visto que muitas espécies pertencentes a este gênero colonizam extensamente as raízes. Além disso, o nitrogênio disponibilizado pela leguminosa pode ter incrementando a colonização micorrízica, visto que raízes da planta de *Ligularia virgaurea* (Maxim.)Mattf. ex Rehder & Kobuski adubadas com N e P não afetou a colonização micorrízica (Shi et al. 2014).

O tipo de sistema de manejo influenciou na produção de glomerosporos apenas aos 120 e 165 dias de cultivo. Diversos fatores podem afetar a esporulação dos FMA no ambiente: local e clima da região em estudo, manejo do cultivo e principalmente as combinações de árvores e espécies vegetais (Bainard et al. 2011). Em sistema agroflorestal cultivado com plantas de milho em consórcio com *A. gummifera* e *C. macrostachyus* foi observado maior esporulação (Heilemarian et al. 2013). Este fato é observado aos 120 dias de cultivo, comparando-se áreas com e sem leguminosa, onde maior esporulação ocorreu em áreas consorciadas. O aumento da esporulação dos FMA associado com plantas leguminosas pode também ser atribuído aos benefícios recíprocos entre rízbio e FMA (Eom et al. 2000). Além disso, áreas com maior diversidade vegetal, apresentam maior liberação de exsudatos radiculares por possuírem sistema radicular mais diversificado, contribuindo para maior esporulação.

Áreas monocultivadas e consorciadas apresentam maior número de glomerosporos nos maiores níveis de sombreamento aos 120 dias de cultivo. Este resultado corrobora com os obtidos por Muleta et al. (2007 e 2008) que encontraram maior abundância de esporos de FMA, especialmente quando as leguminosas serviam como cultura para sombrear plantas de café em relação ao monocultivo. Entretanto, a ausência de diferença significativa no número de glomerosporos entre os níveis de sombreamento aos 165 e 210 dias pode ter relação com a redução na temperatura e aumento da precipitação durante o período de estudo, tornando o efeito do sombreamento menos evidente. Na região sudeste do Brasil, Cardoso et al. (2003) obtiveram maior produção de glomerosporos em sistema de monocultivo de café em

menor nível de sombreamento, atribuindo este fato ao aumento da temperatura do solo devido a incidência direta de luz sobre a superfície do solo. Estes resultados contrários sugerem que em regiões semiáridas os benefícios do sombreamento são dependentes do período do ano e das condições climáticas, aliado a este fato, a escolha de combinações entre plantas consorciadas deve evitar a possibilidade de antagonismo, como a competição por nutrientes.

### **Carboidratos totais e correlação dos carboidratos solúveis totais, redutores e não redutores com os parâmetros micorrízicos**

No presente estudo, áreas monocultivadas e consorciadas com sombreamento mais intenso apresentaram as menores concentrações dos carboidratos solúveis totais, redutores e não redutores de glicose. Um fator que pode ter contribuído para este resultado é que plantas em intenso sombreamento reduzem as taxas fotossintéticas, visto que as variações existentes entre os teores destes solutos estão associadas à intensa luminosidade, pois existe uma relação direta entre a fotossíntese e a intensidade de luz que chega as folhas (Taiz e Zeiger, 2006). O decréscimo nos teores de carboidratos solúveis em decorrência do sombreamento foi relatado em plantas de *Panicum maximum* (Wong e Wilson, 1982), *Lolium perenne* (Hight et al. 1968), *Pennisetum clandestinum* (Samarakoon et al. 1990), *Andropogon gayanus*, *Brachiaria brizantha*, *Brachiaria decumbens*, *Melinis minutiflora*, *Panicum maximum* e *Setaria anceps* (Castro et al. 1999). Hight et al. (1968) constataram que plantas de azévem sombreadas (22% de luz) tiveram redução nos teores de carboidratos solúveis para 3,7% quando comparada à área a pleno sol (5,0%). Os resultados obtidos no presente estudo são de grande relevância, uma vez que plantas intensivamente sombreada e com pastejo intensivo podem perder a capacidade de rebrota e conseqüentemente a sobrevivência das gramíneas em ambientes sombreados devido ao baixo nível destas reservas.

Sabe-se que as plantas forrageiras são conhecidas por transferir de 30-50% do seu C assimilado pela fotossíntese para o solo (Kuzyakov e Domanski, 2000). Neste contexto, o carbono fixado pela planta é transferido para os FMA na forma de açúcares solúveis (Bago et al. 2000), existindo correlação entre estes solutos e a colonização de raízes de gramíneas inoculadas com espécies de FMA (Douds e Schenck, 1990).

No presente estudo, em geral, tanto a colonização micorrízica como o número de glomerosporos não apresentaram correlações significativas com carboidratos solúveis, apenas a CM correlacionou-se negativamente com açúcares redutores. Este resultado pode ser decorrente do maior investimento dos carboidratos da planta para aumento da área foliar e alongamento do colmo como forma de maximizar a captação de luz levando ao menor dreno de C para o fungo. Castro et al. (1999) constataram maior crescimento do colmo em plantas *B. brizantha*, *M. minultiflora*, *P. maximum* e *S. anceps* e redução nos teores dos açúcares solúveis com aumento dos níveis de sombreamento.

No entanto, estudo recente tem mostrado que a diminuição na oferta de C induzida pelo sombreamento pouco influencia em raízes colonizadas por FMA (Stonor et al. 2014), e que esse repasse só será reduzido a depender das espécies fúngicas (Zheng et al. 2014).

### **Dinâmica da comunidade micorrízica em pastagens sombreadas e consorciada**

*Acaulospora* e *Glomus* predominaram tanto em abundância quanto em frequência entre os sistemas de manejo e os tratamentos de sombreamento. Ambos os gêneros têm sido relatados como predominantes em áreas de pastagens em ecossistemas áridos e semiáridos (Picone, 2000; Tao e Zhiwei, 2005; Muleta et al. 2007 e 2008), em relação aos demais grupos, sendo esses os gêneros com maior número de espécies descritas.

O predomínio destes gêneros podem ter sido influenciado pelo baixo pH (5,3-6,4) do solo observado neste estudo. Alguns autores demonstraram que algumas espécies pertencentes a estes gêneros são encontrados em solos com pH abaixo de 6,2 em solos brasileiros (Souza et al. 2003 e Gomes e Trufem, 1998).

Espécies como *Acaulospora excavata*, *Acaulospora mellea*, *Acaulospora scrobiculata*, *Acaulospora* sp., *Ambispora appendicula*, *Glomus* sp.1, *Glomus* sp.2, *Glomus* sp.3, *Glomus* sp.4, *Cetraspora pellucida* e *Racocetra gregraria* ocorreram de forma generalizada. Isto está de acordo com estudos realizados em pastagens no Tibetan Plateau na China (Gai et al. 2009; Gao e Gu, 2010; Wang et al. 2014), na Nicarágua e Costa Rica (Picone, 2000) e em Portugal (Mello et al. 2014) que também observaram ocorrência generalizada das espécies destes gêneros.

Por outro lado, *Acaulospora elegans*, *Intraornatospora intraornata*, *Septoglomus* aff. *deserticola*, *Scutellospora calospora*, *Acaulospora* aff. *bireticulata*, *Acaulospora* aff. *denticulata* e *Gigaspora* sp. foram sensíveis às mudanças do sistema de manejo e ao sombreamento, apresentando baixa abundância e frequência nas parcelas, registrando-se a ocorrência destas espécies após a introdução da leguminosa. Sousa et al. (2013) estudando o efeito dos sistemas agroflorestais e monocultivo sobre as espécies de FMA, constaram que mudanças na composição vegetal promoviam alterações na comunidade micorrízica. Esses autores ainda encontraram maior número de táxons de FMA em áreas monocultivadas. No Brasil, Loss et al. (2009) comparando a ocorrência das espécies de FMA em um sistema agroflorestal e pastagem de *B. brizantha*, constataram que espécie pertencente a *Gigaspora* foi encontrada apenas no sistema agroflorestal, mostrando que determinadas espécies parecem ser sensíveis a determinadas práticas de manejo. Além disso, Souza et al. (2003) sugerem que a distribuição das espécies de FMA pode ter relação com a estratégia de vida desses fungos, que irão apresentar diferentes mecanismos de sobrevivência às condições bióticas e abióticas em um determinado ambiente.

Além do efeito da composição vegetal, o sombreamento é um fator abiótico determinante na abundância de certas espécies de fungos micorrízicos. Shi et al. (2014) observaram que o sombreamento foi mais determinante do que a fertilidade do solo para a abundância de *Diversispora eburnea* (= *Glomus eburneum*) L.J Kenn., J.C Stutz & J.B Morton, enquanto que o sombreamento só reduziu a abundância de *Acaulospora lacunosa* J.B. Morton no tratamento fertilizado. Segundo estes autores tais resultados indicam que as respostas desses fungos à redução da intensidade de luz pode ser espécie-específico e que estas condições reduzem a quantidade de recursos disponíveis para os fungos influenciando na abundância das espécies.

Constatou-se que áreas monocultivadas antes da implantação da leguminosa apresentaram menor ocorrência de espécies de FMA e mudanças na comunidade de FMA ocasionadas pela introdução da leguminosa começaram a ocorrer aos 120 dias de cultivo. Tais resultados indicam que a introdução de mais espécies no monocultivo favorece a diversidade de FMA, como demonstrado por Burrows e Pflieger (2002).

Houve predominância ao longo do tempo de espécies pertencentes aos gêneros *Glomus* e *Acaulospora* que foram ainda mais favorecidos pela introdução da cunhã. Isso indica que a presença da leguminosa em conjunto com gramínea pode favorecer a

presença destes grupos, mostrando a grande plasticidade destes gêneros em adaptar-se às áreas com diferentes graus de perturbação e diferentes hospedeiros (Miranda et al. 2010). Além disso, algumas espécies de *Glomus* apresentam capacidade de formar anastomoses entre as hifas, sendo capaz de se reestabelecer após alterações ou estresse que ocorrem no solo (Chiffhot et al. 2009), tornando as espécies deste gênero resistentes as diferentes práticas de manejo em pastagens.

*Acaulospora morrowiae*, *Acaulospora rehmi*, *Fuscutata heterograma*, *Gigaspora gigantea*, *Sclerocystis sinuosa*, *Septoglomus* aff. *constrictum* foram registrados a partir dos 120 dias de cultivo, demonstrando a capacidade dessas espécies se estabelecerem na área após a introdução de outra espécie vegetal. Por outro lado, *Acaulospora* aff. *bireticulata*, *Acaulospora* aff. *denticulata*, *Dentiscutata scutata*, *Glomus taiwanensis*, *Intraornatospora intraornata* e *Septoglomus deserticola* só ocorreram aos 120 dias e algumas foram exclusivas a partir dos 165 dias de cultivo, sugerindo que estas espécies precisam de condições mais estáveis, não encontradas na fase inicial de estabelecimento.

O estabelecimento de espécies de FMA distintas em diferentes plantas hospedeiras pode ser decorrente do habitat criado por cada planta (Carrenho et al. 2001), em nosso estudo as condições proporcionadas pelas plantas parecem estabilizar a partir dos 165 dias de cultivo. A ocorrência de *Acaulospora elegans*, *Gigaspora* sp. e *Scutellospora calospora* apenas aos 210 dias de cultivo, caracteriza que estas espécies apresentam baixa esporulação ao longo do tempo de estabelecimento do consórcio. Oehl et al. (2003 e 2009) observaram que esporos pertencentes a *S. calospora* raramente eram encontrados em amostras de campo e que este fungo apresentou esporulação tardia. Nossos resultados sugerem que ao longo dos 210 dias de cultivo no campo ocorre uma dinâmica na ocorrência das espécies de FMA, ressaltando que espécies como *Glomus* sp. 4, *Glomus* sp. 3 e *Acaulospora scrobiculata* são mais persistentes. Oehl et al. (2009) demonstraram a ocorrência desta dinâmica de sucessão de espécies de FMA quando estudaram um microcosmo de sistema agrícola composto por *Lolium perenne*, *Trifolium pratensis* e *Plantago lanceolata* cultivados durante três anos.

Ao considerar o índice de Shannon, que contempla a dominância dos indivíduos (equitabilidade), foi possível observar diferenças entre os níveis de sombreamento, com maior diversidade em 55%, e pouca variação em termos de diversidade entre as áreas sem e com consórcio, sendo encontrada. Resultado similar foi registrado por Muleta et

al. (2007), os quais verificaram maior diversidade de FMA pelo índice de Shannon quando plantas de café eram sombreadas por espécies *P. reclinata* e *M. ferruginea*. Além disso, o cultivo misto de espécies vegetais geralmente permite maior diversidade e abundância dos FMA em relação às áreas monocultivadas (Cardoso e Kuyper, 2006), permitindo ainda, que a quantidade de raízes disponibilizadas pelas plantas aumente a oferta de C para os fungos alterando a comunidade (Burrowns e Pflieger, 2002).

De modo geral, as espécies de *Glomus* e *Acaulospora* contribuíram para maior dissimilaridade entre os níveis de sombreamento, sem e com a presença da leguminosa, e ao longo do tempo de estabelecimento do consórcio. Estes resultados podem ser decorrentes da estratégia de vida das espécies pertencentes a estes gêneros que apresentam elevada capacidade adaptativa a áreas com distúrbios (Daniell et al. 2001) e alta infectividade de seus propágulos (Hart e Reader, 2002), tornando-os estrategicamente mais tolerantes às mudanças de manejo em pastagens.

Diferenças na composição das comunidades foram observadas apenas para a área antes do estabelecimento do consórcio em relação aos períodos posteriores de cultivo (165 e 210 dias). As demais diferenças entre os ciclos avaliados foram mais relacionadas às mudanças na frequência e abundância das espécies do que pela composição das espécies de FMA. Possivelmente, os ciclos de cultivo influenciaram as comunidades de FMA, observando-se evidente distinção entre os períodos antes e a partir de 165 dias de cultivo. Salienta-se que *Glomus* sp.4 foi a espécie mais frequente e abundante, e contribuiu para o aumento da dominância aos 165 e 210 dias de cultivo, períodos nos quais constata-se redução da diversidade de FMA, sugerindo seleção de espécies ao manejo adotado.

## **Conclusão**

O período inicial da introdução de *C. ternatea* em pastagem de capim buffel (*C. ciliaris*) provoca aumento no número de glomerosporos, porém, após 210 dias de cultivo ocorre redução da diversidade de espécies e esporulação.

Alteração na quantidade de carboidrato redutor decorrente do sombreamento e do consórcio com *C. ternatea* em pastagem de *C. ciliaris* é detectável apenas a partir de 165 dias de cultivo, com o sombreamento reduzindo a quantidade de carboidratos redutores.

O sombreamento em 55% promove maior diversidade, com maior equitabilidade e menor dominância de espécies de FMA; no entanto após 165 dias de cultivo a diversidade de espécies reduz, sugerindo a seleção e o estabelecimento de algumas espécies de FMA.

## Referências

BAINARD, L.K.; KLIRONOMOS, J.N.; GORDON, A.M. 2011. Arbuscular mycorrhizal fungi in tree-based intercropping systems: A review of their abundance and diversity. **Pedobiologia**, v.54, p. 57-61.

BAINARD, L.K.; KOCH, A.M.; GORDON, A.M.; KLIRONOMOS, J.N. 2012. Temporal and compositional differences of arbuscular mycorrhizal fungal communities in conventional monocropping and tree-based intercropping systems. **Soil Biology Biochemistry**, v.45, p. 172-180.

BAGO, B.; PFEFFER, P. E.; SHACHAR-HILL, Y. 2000. Carbon metabolism and transport in arbuscular mycorrhizas. **Plant Physiology**. v. 124, p. 949-957.

BARCELLOS, A. O. et al. 2008. Sustentabilidade da produção animal baseada em pastagens consorciadas e no emprego de leguminosas exclusivas, na forma de banco de proteína, nos trópicos brasileiros. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, p.51-67.

BAREA, J.M.; PALENZUELA, J.; CORNEJO, P.; SÁNCHEZ-CASTRO, I.; NAVARRO-FERNÁNDEZ, C.; LÓPEZ-GARCÍA, A.; ESTRADA, B.; AZCÓN, R.; FERROL, N.; AZCÓN-AGUILAR, C. 2011. Ecological and functional roles of mycorrhizas in semi-arid ecosystems of Southeast Spain. **Journal of arid Environments** v. 75, p. 1292-1301.

BURROWS, R. L.; PFLEGER, F. L. 2002. Arbuscular mycorrhizal fungi respond to increasing plant diversity. **Can. J. Bot.** 80: 120-130.

CADISCH, G.; SCHUNKE, R.M.; GILLER, K.E. 1994. Nitrogen cycling in a pure grass pasture and grass-legume mixture on a red latosol in Brazil. **Tropical Grassland**, v.28, p. 43-52.

CALVO, C.L.; FOLONI, J.S.S.; BRANCALIÃO, S.R. 2010. Produtividade de fitomassa e relação C/N de monocultivo e consórcios de guandu-anão, milho e sorgo em três épocas de corte. **Bragantia**, v.69, p. 77-86.

CARDOSO, I.M. et al. 2003. Distribution of mycorrhizal fungal spores in soils under agroforestry and monocultural coffee systems in Brazil. **Agroforest Syst** 58:33–43.

CARDOSO, I.M.; KUYPER, T.W. 2006. Mycorrhizas and tropical soil fertility. **Agriculture Ecosystems & Environment** v.116, p. 72-84.

CLARKE, K.R.; GORLEY, R.N. 2006. PRIMER v6: User Manual/Tutorial. PRIMER-E, Plymouth.

CARRENHO, R.; TRUFEM, S. F. B.; BONONI, V. L. R. Fungos micorrízicos arbusculares em rizosferas de três espécies de fitobiontes instaladas em área de mata ciliar revegetada. **Acta Botanica Brasilica**, v. 15, p. 115-124, 2001.

CASTRO, C.R.T. et al. 1999. Produção Forrageira de gramíneas cultivadas sob luminosidade reduzida. **Revista brasileira de Zootecnia**, v.28, p. 919-927.

CHIFFLOT, V.; RIVEST, D.; OLIVIER, A.; COGLIASTRO, A.; KHASA, D. 2009. Molecular analysis of arbuscular mycorrhizal community structure and spores distribution in tree-based intercropping and forest systems. **Agriculture, Ecosystems Environment** v.131, p. 32-39.

DANIELL, T.J.; HUSBAND, R.; FITTER, A.H.; YOUNG, J.P.W. 2001. Molecular diversity of arbuscular mycorrhizal fungi colonising arable crops. **FEMS Microbiology Ecology**, v.36, p. 203-209.

DOUDS, D.D.; SCHENCK, N.C. 1990. Relationship of Colonization and Sporulation by VA Mycorrhizal Fungi to Plant Nutrient and Carbohydrate Contents. **New Phytologist** v.116, p. 621-627.

DUBOIS, M.; GILLES, K.; HAMILTON, J.; REBERS, P.; SMITH, F.1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, 28(3), 350–356.

EOM, A. H.; HARTNETT, D. C.; WILSON, G. W. T. Host plant species on arbuscular mycorrhizal fungal communities in tallgrass prairie. **Oecologia**, v. 122, p. 435-444, 2000.

EUCLIDES, V. P. B. et al. 2010. Brazilian scientific progress in pasture research during the first decade of XXI century. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, p. 151-168.

FERGUSON, J. J; MENGE, J. A. 1982. The influence of light intensity and artificially extended photoperiod upon infection and sporulation of *Glomus fasciculatus* on sudan grass and on root exudation of sudan grass. **New phytol.** v.92, p. 183-191.

FRANCO, A.D.; CANO, I.G. 2006. Colonización micorrízica arbuscular y crecimiento de genotipos de pasto buffel (*Cenchrus ciliaris* L.). **Revista Fitotecnia Mexicana**, v.29, p. 203-206.

FUZY, A. et al. 2014. Mycorrhizal symbiosis effects on growth of chalk false-brome (*Brachypodium pinnatum*) are dependent on the environmental light regime. **Journal Plant Physiology**, v.171, p.1-6.

GAI, J.P. et al. 2009. Occurrence and distribution of arbuscular mycorrhizal fungal species in three types of grassland community of the Tibetan Plateau. **Ecol. Res.** 24: 1345-1350.

GAO, Q.; GUO, L.D. A comparative study of arbuscular mycorrhizal fungi in forest, grassland and cropland in the Tibetan Plateau, China. **Mycology**, v.1, n.3, p.163-170.

GERDEMANN, J.W., NICOLSON, T.H. 1963. Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. **Transation British Mycological Society**. 46, 235-244.

GIOVANETTI, M.; MOSSE, B. 1980. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. **New Phytologist**. 84, 489-500.

GOMES,S.P.; TRUFEM, S.F.B. 1998. Fungos micorrízicos arbusculares (Glomales, Zygomycota)na Ilha dos Eucalptos, Represa do Guarapiranga, São Paulo, SP. **Acta botânica brasílica**, 12(3):393-401.

HAILEMARIAM, M. et al. 2013. Arbuscular mycorrhizal association of indigenous agroforestry tree species and their infective potential with maize in the rift valley, Ethiopia. **Agroforestry Systems**, 87: 1261-1272.

HART, M.M.; READER, R.J. 2002. Taxonomic Basis for Variation in the Colonization Strategy of Arbuscular Mycorrhizal Fungi. **New Phytologist** v.153, p. 335-344.

HEINEMEYER, A.; FITTER, A.H. 2004. Impact of temperature on the arbuscular mycorrhizal (AM) symbiosis: growth responses of the host plant and its AM fungal partner. *Journal of Experimental Botany*, v.55, p.525-534.

HIGHT, G. K et al. 1968. Some effects of Shading and nitrogen fertiliser on the chemical composition of freeze-dried and oven-dried herbage, and on the nutritive value of oven-dried herbage fed to sheep. **New Zeland Journal of Agricultural Research**, 11:2, p. 286-302.

HIIESALU, I. et al. 2014. Species richness arbuscular mycorrhizal fungi: associations with grassland plant richness and biomass. **New phytologist**, v.203, p. 233-244.

JENKINS, W.R. 1964. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. **Plant Disease Report**. 48, 692.

KABLI, R. et al. 2014. Interaction between legume and arbuscular mycorrhizal fungi identity alters the competitive ability of warm-season grass species in a grassland community. **Soil Biology and Biochemistry**, v.70, p. 176-182.

KUZYAKOV, Y.; DOMANSKI, G. 2000. Carbon input by plants into the soil. Review. *J. Plant. Nutr. Soil. Sci.* v. 163, p. 421-431.

MELO, C.D. et al. 2014. Species composition of arbuscular mycorrhizal fungi differ in semi-natural and intensively managed pastures in an isolated oceanic island (Terceira, Azores). **Symbiosis**, 64:73-85.

MIRANDA, E.M.; SILVA, E.M.R.; SAGIN JÚNIOR, O.J. Comunidades de fungos micorrízicos arbusculares associados ao amendoim forrageiros em pastagens consorciadas no Estado do Acre, Brasil. **Acta Amazonica** v.40, p. 13-22.

- MORATELLI, E. M. et al. 2007. Efeito da disponibilidade de água e luz na colonização micorrízica e no crescimento de *Tabebuia avellaneda* Lorentz ex Griseb. (Bignoniaceae). **R. árvore**, Viçosa-MG, v. 31, n. 3, p. 555-566.
- MULETA, D. et al. 2007. Composition of coffee shade tree species and density of indigenous arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) spore in Bonga natural coffee forest, southwestern Ethiopia. **Forest Ecology Management** v.241, p. 145-154.
- MULETA, D. et al. 2008. Distribution of arbuscular mycorrhizal fungi spores in soils of smallholder agroforestry and monocultural coffee systems in southwestern Ethiopia. **Biol. Fertil. Soils**, v. 44, p. 653-659.
- NELSON, N. 1960. A photometric adaptation of Somogyi method for determination of glucose. **Journal of Biologic Chemistry**, Bethesda, Md, v. 153, p. 375-380.
- OEHL, F.; SIEVERDING, E.; INEICHEN, K.; MÄDER, P.; WIEMKEN, A.; BOLLER, T. 2009. Distinct sporulation dynamics of arbuscular mycorrhizal fungal communities from different agroecosystems in long-term microcosms. **Agriculture, Ecosystems e Environment** v.134, p. 257-268.
- PHILLIPS, J. M.; HAYMAN, D. S. 1970. Improved procedures for clearing and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of the infection. **Transaction of British Mycological Society**. 55, 158–161.
- PICONE, C. 2000. Diversity and abundance of arbuscular-mycorrhizal fungus spores in tropical forest and pasture. **Biotropica**, v.32, p. 734-750.
- SAMARAKOON, S.P., WILSON, J.R., SHELTON, H.M. 1990. Growth, morphology and nutritive quality of shaded *Stenotaphrum secundatum*, *Axonopus compressus* and *Pennisetum clandestinum*. **J. Agric. Sci.**, 114(2):161-169.
- SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO, I. H.; SILVA, V. M.; ALVES, G. D. 1995. Capacidade de suprimento de N e resposta à fertilização de 20 solos de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.20, n.1, p.269-279.
- SHI, G. et al. 2014. Interactive influence of light intensity and soil fertility on root-associated arbuscular mycorrhizal fungi. **Plant Soil**, v. 378, p. 173-188.

SILVA, J. J.; SALIBA, E. O. S. 2007. Pastagens consorciadas: uma alternativa para sistemas extensivos e orgânicos. **Veterinária e Zootecnia**, 14: 8-18.

SOUSA, C. S. et al. 2013. Arbuscular mycorrhizal fungi within agroforestry and traditional land use systems in semi-arid Northeast Brazil. **Acta Scientiarum. Agronomy**. v. 35, n. 3, p. 307-314.

STONOR, R.N et al. 2014. Mycorrhizal responses in wheat: shading decreases growth but does

not lower the contribution of the fungal phosphate uptake pathway. **Mycorrhiza**, v.24, p. 465-472.

TAO, L.; ZHIWEI, Z. 2005. Arbuscular mycorrhizas in a hot and arid ecosystem in Southwest China. **Applied Soil Ecology**, 29: 135-141.

SOUZA, R.G. et al. 2003. Potencial de infectividade de fungos micorrízicos arbusculares oriundos de área de caatinga nativa e degradada por mineração, no estado da Bahia. **Revista brasileira de botânica**, 26:49-60.

VAN DER HEIJDEN, M.G.A. et al. 1998. Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. **Nature** 396: 69-72.

WALDER, F. et al. 2012. Mycorrhizal Networks: Common Goods of plants shared under unequal terms of trade. **Plant physiology**, v. 159, p. 789-797.

WANG, Q. et al. 2014. Spatio-temporal dynamics of arbuscular mycorrhizal fungi associated with glomalin-related soil protein and soil enzymes in different managed semiarid steppes. **Mycorrhiza**, 24:525-538.

WHITE, L. M. 1973. Carbohydrate Reserves of Grasses: A review. **Journal of Range Management**, v.26 (1), p. 13-18.

WONG, C.C., WILSON, J.R. 1980. Effects of shading on the growth and nitrogen content of green panic and siratro in pure and mixed swards defoliated at two frequencies. **Austr. J.Agric. Res.** v.31 (3), p.269-285.

ZHENG, C. et al. 2014. Shading decreases plant carbon preferential allocation towards the most beneficial mycorrhizal mutualist. **New phytologist**, in press.

### 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A introdução da *Clitorea ternatea* L. em pastagens de *Cenchrus ciliaris* L. em regiões semiáridas resulta em melhorias significativas na atividade microbiana (carbono da biomassa microbiana e respiração do solo), na atividade enzimática ( $\beta$ -glucosidase, fosfatase ácida e urease). Neste sistema o sombreamento promove incremento no aporte do carbono microbiano e na atividade da  $\beta$ -glucosidase, com menor valor de  $qCO_2$ , sendo recomendada a introdução desta prática de manejo.

Em geral, a implantação do sombreamento reduz a atividade enzimática da urease e fosfatase ácida, bem como a presença de carboidratos solúveis em plantas de capim buffel, sendo as áreas a pleno sol favoráveis para ambas as variáveis. Além de incrementar o C-BM, o sombreamento aumenta produção de propágulos de FMA (número de glomerosporos), fato que pode estar relacionado a maior diversidade de espécies de FMA, porém a colonização micorrízica é reduzida nos maiores níveis de sombreamento, tendo esta variável correlacionado-se negativamente com o carboidrato redutor.

Ao longo do tempo de cultivo, observa-se redução na diversidade de espécies de FMA, sendo algumas espécies de FMA exclusivas para determinado período de coleta, indicando a dinâmica na sucessão de espécies de FMA, evidenciada principalmente a partir dos 165 dias de cultivo.

As espécies do gênero de *Acaulospora* e *Glomus* foram as mais abundantes e frequentes, dentre estas, *Glomus* sp. 4 foi a que mais indicou a dissimilaridade entre às áreas ao longo do tempo, em função de sua frequência e abundância. No entanto, ao realizar a análise de similaridade (ANOSIM), diferenças em termo de composição das espécies de FMA foram observadas a partir dos 165 e 210 dias de cultivo, mostrando a influência dos ciclos de cultivo sobre as comunidades de FMA, constatando-se forte distinção entre os períodos antes e após 165 dias de cultivo.

#### 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS GERAIS

AGUIAR, A. C. F. et al. 2010. Nutrient recycling and physical indicators of an alley cropping system in a sandy loam soil in the pre-Amazon region of Brazil. **Nutr. Cycl. Agroecosyst.** v.86, p. 189-198.

ALEF, K., NANNIPIERI, P. 1995. **Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry.** San Diego, Academic Press.

ALEXANDRINO, E. et al. 2008. Evolução da biomassa e do perfil da reserva orgânica durante a rebrotação da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu submetida a doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal,** Salvador, v. 9, n. 2, p. 190-200.

ALDEREZ-CHÁVEZ, A. et al. 2011. Evaluation of *Clitoria ternatea* in relation with fertility in tropical soils. **Journal of Applied Sciences.** 11(6), p. 1044-1048.

ALLISON, S.D.; VITOUSEK, P.M. 2005. Responses of extracellular enzymes to simple and complex nutrient inputs. **Soil Biology and Biochemistry,** 37: 937-944.

ALTIERI, M. A. 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. **Agriculture, Ecosystems and Environment,** v.79, p. 19-31.

ANDERSON, T.-H., DOMSCH, K.H., 1990. Application of eco-physiological quotients ( $qCO_2$  and  $qD$ ) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. **Soil Biology & Biochemistry,** v. 22, p.251-255.

ANDRANDE, C. M. S. et al. 2003. Desempenho de Seis Gramíneas Solteiras ou Consorciadas com o *Stylosanthes guianensis* cv. Mineirão e Eucalipto em Sistema Silvopastoril. **R. Bras. Zootec.** v. 32, n. 6, p. 1845-1850.

ANDREWS, S.S., CARROL, R. 2001. Designing a soil quality assessment tool for sustainable agroecosystems. **Agronomy Journal** 11: 1573-1585.

ARRIAGA, L. A. E. et al. 2004. Potential ecological distribution of alien invasive species and risk assessment: A case study for buffel grass in arid regions of Mexico. **Conservation Biology**, 18: 1504–1514.

AON, M.A.; COLANERI, A.C. 2001. II. Temporal and spatial evolution of enzymatic activities and physico-chemical properties in an agricultural soil. **Applied Soil Ecology**, 18: 255-270.

ARAÚJO-FILHO. et al. 1996. Consorciação do Capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum) e da cunhã (*Clitorea ternatea* L.) sob quatro intervalos de corte. **Pasturas tropicales**, 18(1): 47-50.

ARAÚJO, A.S.F.; MONTEIRO, R.T.R. 2007. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal** 23: 66-75.

ASSIS-JÚNIOR, S. L. et al. 2003. Atividade microbiana do solo em sistemas agrofloretais, monoculturas, mata natural e área desmatada. **R. árvore**, Viçosa-MG, v.27, p. 35-41.

ARSHAD, M. A.; MARTIN, S. 2002. Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. V.88, p. 153-160.

ARYA, R. 2006. A silvipastoral study combining *Cenchrus ciliaris* and three species of tree in arid India. **Journal of Arid Environment**. v. 65, p. 179-191.

AVALOS, J. F. V. et al. 2004. Agrotechnis and use *Clitorea ternatea* in beef and milk production systems. **Téc. Pecu. Méx.** 42(1): 79-96.

AYERSA, R. 1981. **El Bufel Grass**: Utilidad y manejo de uma promisoría gramínea. Buenos Aires: Hemisfério Sur, 139p.

AZAR, G. S. et al. 2013. Biomassa e atividade microbiana do solo sob pastagem em sistemas de monocultura e sivilpastoril. **Semina: Ciência Agrárias**, Londrina, v.34, n.6, p. 2727-2736.

BAINARD, L.K.; KLIRONOMOS, J. N.; GORDON, A. M. 2011. Arbuscular mycorrhizal fungi in tree-based intercropping systems: A review of their abundance and diversity. **Pedobiologia**, v.54, p. 57-61.

BANDICK, A.K.; DICK, R. P. 1999. Field management effects on soil enzyme activities. **Soil Biology and Biochemistry**, 31: 1471-1479.

BAKSHI, M.; VARMA, A.; 2011. **Soil enzyme: the state-of-art**. In: Shukla, G., Varma, A.(Eds.), Soil Enzymology, Soil Biology, v. 22. Springer, Verlag, Berlin, Heidelberg, p. 1-24.

BARBERO, L. M. et al. 2009. Produção de forragem e componentes morfológicos em pastagem de coastcross consorciada com amendoim forrageiro. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, n.5, p.788-795.

BARCELLOS, A. O. et al. 2008. Sustentabilidade da produção animal baseada em pastagens consorciadas e no emprego de leguminosas exclusivas, na forma de banco de proteína, nos trópicos brasileiros. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, p.51-67.

BAKER, L.R.; WHITE, P.M.; PIERZYNSKI, G.M. Changes in microbial properties after manure, lime, and bentonite application to a heavy metal-contaminated mine waste. **Applied Soil Ecology**, v. 48, p. 1–10, 2011.

BELESKY, D. P.; CHATTERTON, N, J.; NEEL, J. P. S. 2006. *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, p. 51-61.

BOHME, L.; BOHME, F. 2006. Soil microbiological and biochemical properties affected by plant growth and different long-term fertilization. **European Journal of Soil Biology**, 42: 1-12.

BROCKETT, B. F. T.; PRESCOTT, C. E.; GRAYSTON, S. J. 2011. Soil moisture is the major factor influencing microbial community structure and

enzyme activities across seven biogeoclimatic zones in western Canada. **Soil Biology & Biochemistry**, 44: 9:20.

BOTREL, M.A.; ALVIM, M.J.; MOZZER, O.L. 1987. Avaliação agronômica de gramíneas forrageiras sob pastejo. **Pesq. Agropec. Bras.**, 22: 1019-1025.

BURROWS, R. L. et al. 2002. Arbuscular mycorrhizal fungi respond to increasing plant diversity. **Can. J. Bot.** 80: 120-130.

BURNS, R. G. 1982. Enzyme activity in soil: Location and a possible role in microbial ecology. **Soil Biology & Biochemistry**. v. 14, p. 423-427.

BURNS, R. G et al. 2013. Soil enzymes in a changing environment: Current knowledge and future directions. **Soil Biology & Biochemistry**, 58: 216-234.

CARDOSO, I. M.; KUYPER, T. W. 2006. Mycorrhizas and Tropical Soil Fertility. **Agriculture Ecosystems and Environment**, v.116, p. 72-84.

CARNEIRO, R. F. V. et al. 2011. **Inoculação micorrízica arbuscular e adubação fosfatada no cultivo de forrageiras consorciadas**. **Arch. zootec.**, v.60, n. 232, p.1191-1202.

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

CARVALHO, G. G. P; PIRES, A. J. V. 2008. Leguminosas Tropicais Herbáceas em Associação com Pastagens. **Arch. Zootec.** 103-113.

CASTRO, C. R. T. et al. 1999. Produção forrageira de gramíneas cultivadas sob luminosidade reduzida. **Rev. bras. zootec**, v.28, n. 5, p. 919-927.

CASTRO, C. R. T. et al. 2001. Efeitos do sombreamento na composição mineral de gramíneas forrageiras tropicais. **Rev. bras. zootec.** v. 30, p. 1959-1968.

CASTRO, A. H. F.; ALVARENGA, A. A. 2002. Influência do fotoperíodo no crescimento inicial de plantas de confrei (*Symphytum officinale* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 26, n. 1, p. 77-86.

CHEN, C. R.; CONDRON, L. M.; DAVIS, M. R.; SHERLOCK, R. R. Seasonal changes in soil phosphorus and associated microbial properties under adjacent grassland and forest in New Zealand. **Forest Ecology and Management**, v. 177, p. 539-557, 2003.

COOK, B. et al. 2005. Trop. Forages: an interactive selection tool, CSIRO, DPI&F Queensland, CIAT, Cali. ([http://www.tropicalforages.info/key/Forages/Media/Html/Clitoria\\_ternatea.htm](http://www.tropicalforages.info/key/Forages/Media/Html/Clitoria_ternatea.htm), acesso em: 12/06/2014).

CORSI, M.; MARTHA JUNIOR, G. B.; PAGGOTO, D. S. 2001. Sistema radicular: dinâmica e resposta a regimes de desfolha. In: W. R. S. Mattos, et al. (Ed.) **A produção animal na visão dos brasileiros**. Piracicaba: FEALC, p. 838-852.

COSTA, J. G.; MARINHO, J. T. S. 2000. Efeito de diferentes arranjos no consórcio milho-feijão e milho-caupi no Acre, Brasil. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 30, n. 3, p. 363-368.

CRIQUET, S. et al. 2004. Annual dynamics of phosphatase activities in an evergreen oak litter: influence of biotic and abiotic factors. **Soil Biology and Biochemistry**, 36: 1111-1118.

CRIQUET, S.; BRAUD, A. 2008. Effects of organic and mineral amendments on available P and phosphatase activities in a degraded Mediterranean soil under short-term incubation experiment. **Soil and Tillage Research**, 98: 164-174.

CRUZ, A. F.; MARTINS, M. A. Efeito de fungos micorrízicos arbusculares e doses de N sobre plantas cultivadas em sistema de consórcio. **Rev. Ceres**, 45(257): 45-54, 1998.

DA SILVA, L. L. G. G. et al. 2012. Produtividade e carboidratos de reserva de pastagens sob intensidades de corte. **Archivos latinoamericanos de Producción Animal**, v.20, n.2, p.7-16.

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

DAS, S.K.; VARMA, A. 2011. **Role of Enzymes in Maintaining Soil Health**. In: Shukla, G.; VARMA, A. (eds). *Soil Enzymology*, Springer Heidelberg Dordrecht London New York, p. 1-365.

DEGENS, B. P. et al. 2000. Decreases in organic C reserves in soils can reduce the catabolic diversity of soil microbial communities. **Soil Biology and Biochemistry**, 32: 189-196.

DE-POLLI, H.; GUERRA, J.G.M. 1997. **Determinação do carbono da biomassa microbiana do solo: método da fumigação-extração**. Seropédica, Embrapa-CNPAB, p.10 (Embrapa-CNPAB. Documentos, 37).

DIAS-FILHO, M. B. 2002. Photosynthetic light response of the C4 grasses *Brachiaria brizanthia* and *B. humidicola* under shade. **Scientia Agricola**, v.59, n.1, p. 65-68.

DONAGEMMA, G. K. et al. 2010. **Indicadores de qualidade: descrição, uso e integração para fins de estudo em agroecossistemas**. In: FERREIRA, J. M. L. et al. ed. *Indicadores de sustentabilidade em sistemas de produção agrícola*. Belo Horizonte, EPAMIG, p. 143-201.

DODOR, D., TABATABAI, A. 2003. Effect of cropping systems of phosphatases in soils. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science** 166: 7-13.

DORAN, J.W., SARRANTONIO, M., LIEBIG, M.A. 1996. Soil health and sustainability. **Advances in Agronomy**, v.56, p.2-54.

DORAN, J.W.; ZEISS, M.R. 2000. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. **Applied Soil Ecology**, 15: 3-11.

DWIVEDI, G. K.; KUMAR, D. 1999. Nitrogen Economy, Dry Matter Production and Seed Production Potencial of *Setaria sphacelata* by Intercropping of Pasture Legumes. **J. Agronomy & Crop Science**. v. 182, p. 121-125.

ELFFEL, A. A.; BAKHASHWAIN, A. A.; ABOHASSAN, R. A. 2013. Interspecific interactions and productivity of *Leucaena leucocephala* and *Clitoria ternatea* under arid land mixed cropping. **The Journal of Animal & Plant Sciences**. 23(5), p. 1424-1430.

EUCLIDES, V. P. B. et al. 2010. Brazilian scientific progress in pasture research during the first decade of XXI century. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, p. 151-168.

FERGUSON, J. J; MENGE, J. A. 1982. The influence of light intensity and artificially extended photoperiod upon infection and sporulation of *Glomus fasciculatus* on sudan grass and on root exudation of sudan grass. **New phytol.** v.92, p. 183-191.

FITTER, A. H.; HELGASON, T.; HOGDE, A. 2011. Nutritional exchanges in the arbuscular mycorrhizal symbiosis: Implications for sustainable agriculture. **Fungal biology reviews**. V.25, p. 68-72.

FUZY, A. et al. 2014. Mycorrhizal symbiosis effects on growth of chalk false-brome (*Brachypodium pinnatum*) are dependent on the environmental light regime. **Journal Plant Physiology**, v.171, p.1-6.

GEISSELER, D., HORWATH, W.R., SCOW, K.M. 2011. Soil moisture and plant residue addition interact in their effect on extracellular enzyme activity. **Pedobiologia**, 54: 71-78.

GERDEMANN, J. W.; TRAPPE, J. M. 1974. The Endogonaceae in the Pacific Nort West. **Mycol. Mem.**, v. 5, p. 1-74.

GOMES, S. M.; KALAMANI, A. 2003. Butterfly Pea (*Clitoria ternatea*): A nutritive multipurpose forage legume for the tropics – An Overview. **Pakistan Journal of Nutrition**, 2(6): p. 374-379.

GOTO, B.T. et al. 2012. Intraornatosporaceae (Gigasporales), a new family with two new genera and two new species. **Mycotaxon**, 119: 117-132.

GRAYSTON, S. J. et al. 2001. Accounting for variability in soil microbial communities of temperate upland grassland ecosystems. **Soil Biology and Biochemistry**, v.33, p. 533- 551.

GUADARRAMA, P. et al. 2014. Arbuscular mycorrhizal fungal communities in changing environments: The effects of seasonality and anthropogenic disturbance in a seasonal dry forest. **Pedobiologia**, v.57, p.87-95.

GUPTA, G. K.; CHACAL, J.; BHATIA, M. 2010. *Clitoria ternatea* (L.): Old and News aspects. **Journal of Pharmacy Research**. 3(11), p. 2610-2614.

HAILEMARIAM, M. et al. 2013. Arbuscular mycorrhizal association of indigenous agroforestry tree species and their infective potential with maize in the rift valley, Ethiopia. **Agroforestry Systems**, 87: 1261-1272.

HART, M. M.; READER, R.J.; KLIRONOMOS, J. N. 2001. Life-history strategies of arbuscular mycorrhizal fungi in relation to their successional dynamics. *Mycologia*, v.93(6), p. 1186-1194.

HERRICK, J.E. et al. 2002. Applications of soil quality to monitoring and management: paradigmas from rangeland ecology. **Agronomy Journal**. v.94, p.3-11.

HIIESALU, I. et al. 2014. Species richness arbuscular mycorrhizal fungi: associations with grassland plant richness and biomass. **New phytologist**, v.203, p. 233-244.

ISLAM, K.R.; WEILI.; R.R. 2000. A rapid microwave digestion method for colorimetric measurement of soil organic carbon. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. 29: 2269-2284.

JEFWA, J. M. et al. 2012. Impact of land use types and farming practices on occurrence of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) Taita-Taveta district in Kenya. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v.157, p. 32-39.

JENKINSON, D.S.; POWLSON, D.S. 1976. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil -I. Fumigation with chloroform. **Soil Biology and Biochemistry** 8: 167-177.

KABLI, R. et al. 2014. Interaction between legume and arbuscular mycorrhizal fungi identity alters the competitive ability of warm-season grass species in a grassland community. **Soil Biology and Biochemistry**, v.70, p. 176-182.

KARLEN, D. L.; DITZLER, C. A.; ANDREWS S. S. 2003. Soil quality: why and how? **Geoderma**. v. 114, n. 3 – 4, p. 145 – 156.

KASCHUK, G.; ALBERTON, O.; HUNGRIA, M. 2010. Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: Lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability. **Soil biology & Biochemistry**, v.4, p. 1-13.

KAUR, K.; JALOTA, R. K.; MIDMORE, D. J. 2000. Soil respiration rate and its sensitivity to temperature in pasture systems of dry-tropics. **Acta agriculturae scandinavica section B - Soil and plant science**, v. 60, p. 407-419.

KAUR, B.; GUPTA, S. R.; SINGH, G. 2000. Soil carbon, microbial activity and nitrogen availability in agroforestry systems on moderately alkaline soils in northern India. **App.Soil. Ecol.** 15:283–294.

KERBAUY, G. B. 2008. **Fisiologia vegetal** / Gilberto Barbante Kerbauy. – 2.ed. – Rio de Janeiro : Guanabara Koogan, p. 116.

KIEFT, T.L.; ROSACKER, L.L. 1991. Application of respiration- and adenylate-based soil microbiological assay to deep subsurface terrestrial sediments. **Soil Biol. Biochem.**, v.23, p.563-568.

KIZILKAYA, R., BAYRAKLI, B. 2005. Effects of N-enriched sewage sludge on soil enzyme activities. **Applied Soil Ecology**, 30: 192-202.

KLIRONOMOS, J. N.; McCUNE, J.; HART, M.; NEVILLE, J. 2000. The influence of arbuscular mycorrhizae on the relationship between plant diversity and productivity. **Ecology Letters**, v.3, p. 137-141.

KRAJEWASK, B. 2009. Urease I. Functional, catalytic and kinetic properties: A review. **Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic**. 59: 9-21.

LÁZARO, C. C. M. 2007. **Efeito do sombreamento em variedades de *Stylosanthes guianensis* L.** Dissertação (Mestrado)- Universidade Estadual Paulista, p. 9.

LEONEL, F. P. et al. 2009. Consórcio capim-braquiária e milho: comportamento produtivo das culturas e características nutricionais e qualitativas das silagens. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n.1, p. 166-176.

LISBOA, B. B. et al. 2012. Indicadores microbianos de qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 36, n. 1, p. 45-55.

MARTINS, J. C. R. et al. 2013. Produtividade de biomassa em sistemas agroflorestais e tradicionais no Cariri Paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n. 6, p. 581-587.

MARTUSCHELLO, J. A. et al. 2009. Produção de gramínea do gênero *Brachiaria* sob níveis de sombreamento. **Revista brasileira de zootecnia**, v.38, n.7, p. 1183-1190.

MARTUSCELLO, J. A. et al. 2011. Produção de biomassa e morfogênese do capim-braquiária cultivado sob doses de nitrogênio ou consorciado com leguminosas. **Rev. Bras. Saúde Prod. An.**, Salvador, v. 12, n. 4, p. 923-934.

MEDEIROS H. R.; DUBEUX Jr. 2008. Efeitos da fertilização com nitrogênio sobre a produção e eficiência do uso da água em capim buffel. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 21, n. 3, p. 13-15.

MELO, W.J. et al. 2010. Avaliação da atividade enzimática em amostras de solo. In: Biotecnologia aplicada à agricultura: textos de apoio e protocolos experimentais. Part. 2, cap. 4. EMBRAPA.

MENEZES, R. S. C.; SALCEDO, I. H.; ELLIOTT, E. T. 2002. Microclimate and nutrient dynamics in a silvopastoral system of semiarid northeastern Brazil. **Agroforestry Systems**, v. 56, p. 27-38.

MISTURA, C. et al. 2011. Germinação e desenvolvimento de plântulas de Cunhã em função da salinidade. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v.12, n.2, p.306-317, 2011.

MIRANDA, E.M. et al. 2008. Seleção de fungos micorrízicos arbusculares para amendoim forrageiro consorciado com braquiária. **Pesq. Agropec. Bras.**, 43: 1185-1191.

MIRSHA, A. K.; TIWARI, H. S.; BHATT, R. K. 2010. Growth, biomass production and photosynthesis of *Cenchrus ciliaris* L. under *Acacia tortilis* (Forssk.) Hayne based silvopastoral systems in semi arid tropics. **Journal of Environmental Biology**. 31(6), p. 987-993.

MONÇÃO, F. P.; OLIVEIRA, E. R.; GOES, R. H. T. B. 2011. O capim-buffel. **Revista Agrarian**, v. 4, n. 11, p. 258-264.

MORATELLI, E. M. et al. 2007. Efeito da disponibilidade de água e luz na colonização micorrízica e no crescimento de *Tabebuia avellanedae* Lorentz ex Griseb. (Bignoniaceae). **R. árvore**, Viçosa-MG, v. 31, n. 3, p. 555-566.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. 2002. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras, UFLA.

MOREIRA, J. N et al. 2007. Potencial de produção do capim buffel na época seca no semiárido pernambucano. **Revista Caatinga**. v.20, n.3, p. 22-29.

MORRIS, J. B. 2009. Characterization of butterfly pea (*Clitoria ternatea* L.) accessions for morphology, phenology, reproduction and potential nutraceutical, pharmaceutical trait utilization. **Genetic Resources and Crop Evolution**, Alemanha, n. 56, p.421-427.

MORTON, J. B.; BENNY, G. L. 1990. Revised classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Zygomycetes): A new order, Glomales, two new suborders,

Glomineae and Gigasporineae, and two new families, Acaulosporaceae and Gigasporaceae, with an emendation of Glomaceae. **Mycotaxon**, v. 37, p. 471-491.

MOYO, C. C.; KISSEL, D. E.; CABARERA, M. L. 1989. Temperature effects on soil urease activity. **Soil Biol. Biochem.**, 21:935-938.

MUKHERJEE, P. K. et al. 2008. The Ayuvedic medicine *Clitoria ternatea* – from traditional use to scientific assessment. **Journal of Ethnopharmacology**, v.120, p.291-301.

MULETA, D. et al. 2007. Composition of coffee shade tree species and density of indigenous arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) spore in Bonga natural coffee forest, southwestern Ethiopia. v.241, p. 145-154.

MULETA, D. et al. 2008. Distribution of arbuscular mycorrhizal fungi spores in soils of smallholder agroforestry and monocultural coffee systems in southwestern Ethiopia. **Biol. Fertil. Soils**, v. 44, p. 653-659.

OEHL, F. et al. 2011. Advances in *Glomeromycota* taxonomy and classification.v.2, n. 2, p. 191-199.

OLIVEIRA, C.M. **O capim-buffel nas regiões secas do Nordeste**. Petrolina: Embrapa-CPATSA, 1981. 19p. (Circular Técnica, 5).

OLIVEIRA, M.C. **Capim Buffel: Suplemento Protéico para a Pecuária do Semi-Árido no Período Seco**, PE: (EMBRAPA - CPATSA, Circular Técnica, nº 51) 1993 18p.

PANDE, M.; TARAFDAR, J. C. 2004. Arbuscular mycorrhizal fungal diversity in nem-based agroforestry systems in Rajasthan. **Applied Soil Ecology**. v.26, p.233-241.

PACIULLO, D. S. C. et al. 2003. Características produtivas e qualitativas de pastagens de braquiária em monocultivo e consorciada com estilosantes. **Pesq. Agropec. bras.** v. 38, p.421- 426.

PALMA, R. M.; CONTI, M. E. 1990. Urease activity in Argentine soils: Field studies and influence of sample treatment. **Soil Biology and Biochemistry**, v.22, p. 105-108.

PAREWA, H. P. et al. 2014. Arbuscular Mycorrhizal Fungi: A way to improve soil quality. **Pop. Kheti**, 2 (2): 85-92.

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

PAZ-FERREIRO, J. et al. 2010. Effect of management and climate on biochemical properties of grassland soils from Galicia (NW Spain). **European Journal of Soil Biology**. 46: 136-143.

PEÑA, M. L. P. et al. 2002. Respiração microbiana como indicador da qualidade do solo em ecossistema florestal. **Floresta**, v. 35, nº1, p.117-127.

PERIN, A. et al. 2004. Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio por adubos verdes em cultivo isolado e consorciado. **Pesq. Agropec. Bras.** v.29, n.1, p.35-40.

PICONE, C. 2000. Diversity and abundance of arbuscular-mycorrhizal fungus spores in tropical forest and pasture. **Biotropica**, v.32, p.734-750.

PLASSART, P. et al. 2008. Molecular and functional responses of soil microbial communities under grassland restoration. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. v. 127. p. 286-293.

PORTÔ, M. L.; et al. 2009. Indicadores biológicos de qualidade do solo em diferentes sistemas de uso no brejo paraibano. **Ciência e Agrotecnologia**, 33: 1011-1017.

PUPO, N. I. H. 1979. **Manual de pastagens e forrageiras: formação, conservação e utilização**. Campinas, SP: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, [2002]. viii, 343 p.

RAJKUMARI, P.; MANKAD, A. 2013. Environmental Impact on Biomass and Allelopathic effect of *Cenchrus ciliaris* L. **European Academic Research**. v1, p. 275-285.

RAVEN, P.H. et al. 2001. **Biologia vegetal**. New York: Guanabara Koogan, p. 906.

REDECKER, D.; KODNER, R.; GRAHAM, L. E. 2000. Glomalean fungi from the Ordovician. **Science**, v.289, p. 1920-1921.

REIS-JUNIOR, F. B.; MENDES, I. C. 2007. **Biomassa microbiana do solo**. Planaltina-DF: Embrapa Cerrados (Documentos 205).

REJSEK, K. et al. 2012. Acid phosphomonoesterase (E. C. 3.1.3.2) location in soil. **Journal of plant of Nutrition and Soil Science**, v.175, p. 196-211.

RIBASKI, J. 2000. Sistema silvipastoris: **Influência da algaroba (*Prosopis juliflora* (SW) DC) sobre a disponibilidade e qualidade da forragem de capim búfel (*Cenchrus ciliaris* L.) na região semi-árida brasileira**. Tese (Doutorado)- Universidade Federal do Paraná, p. 165.

RIBASKI, J.; MENEZES, E. A. 2002. Disponibilidad y calidad del pasto buffel (*Cenchrus ciliares* L.) en un sistema silviopastoril con algarrobo (*Prosopis juliflora*) en la región semi-árida Brasileña. **Agroforestería en las Americas**. v.9, n.33-34, p. 8-13.

RODRIGUES, G. B. et al. 2012. Matéria e nutrientes da parte aérea de adubos verdes em cultivos exclusivo e consorciado, **R. Ceres**, v. 29, n. 3, p. 380-385.

ROSCOE, R. et al. 2006. Biomassa microbiana do solo: fração mais ativa da matéria orgânica do solo. In: Roscoe, R., Mercante, F.M., Salton, J.C., (eds.) **Dinâmica da matéria orgânica sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliaries**, Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste, pp. 163-198.

SAGGIN-JÚNIOR, O. J.; SILVA, E. M. R. 2005. Micorríza arbuscular- Papel funcionamento e aplicação da simbiose. In: **Processos biológicos no sistema**

**solo-planta e ferramenta para uma agricultura sustentável**, Renata Linhares de Assis, Embrapa Agrobiologia: Brasília-DF: Embrapa informação tecnologia, p. 368.

SÁNCHEZ, S; HERNÁNDEZ, M; SIMÓN, L. 2003. Efecto del sistema silvopastoril em La fertilidad edáfica em unidades lecheras de la empresa Nazareno. **Pasto y forrages**, v. 26, n. 2, p. 131-138.

SANAULLAH, M. et al. 2011. Drought effects on microbial biomass and enzyme activities in the rhizosphere of grasses depend on plant community composition. **Applied Soil Ecology**, v.48, p. 38-44.

SANTOS, I. P. A.; PINTO, J. C. et al. 2002. Influência do Fósforo, Micorriza e Nitrogênio no Conteúdo de Minerais de *Brachiaria brizantha* e *Arachis pintoi* consorciados. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.2, p. 605-616.

SARDANS, J.; PENUELAS, J.; ESTIARTE, M. 2008. Changes in soil enzymes related to C and N cycle and in soil C and N content under prolonged warming and drought in a Mediterranean shrubland. **Applied Soil Ecology**, 39: 223-235.

SAVIOZZI, A. et al. 2001. A comparison of soil quality in adjacent cultivated, forest and native grassland soils. **Plant Soil**. v. 233, 251–259.

SCHLOTTER, M.; DILLY, O.; MUNCH, J. C. 2003. Indicators for evaluating soil quality. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.98, p. 255-262.

SCHUBLER, A.; SCHWARZOTT, D.; WALKER, C. 2001. A new fungal phylum, the *Glomeromycota*: phylogeny and evolution. **Mycol. Res.** 105 (12), p. 1413-1421.

SHI, G. et al. 2014. Interactive influence of light intensity and soil fertility on root-associated arbuscular mycorrhizal fungi. **Plant Soil**, v. 378, p. 173-188.

SILVA, R. N. et al. 2003. Comparação de métodos para a determinação de açúcares redutores e totais em mel. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Campinas, v. 23, n. 3, p. 337-341.

SILVA, J. J.; SALIBA, E. O. S. 2007. Pastagens consorciadas: uma alternativa para sistemas extensivos e orgânicos. **Veterinária e Zootecnia**, 14: 8-18.

SIQUEIRA, J. O.; KLAUBERG FILHO, J. 200. Micorrizas arbusculares: A pesquisa brasileira em perspectiva. In: Novais, R. F.; Alvarez, V. V. H.; Schacter CEGR. **Tópicos de ciências do solo**, v. 1, Viçosa: SBCS.

SIQUEIRA, J. O.; LAMBAIS, M. R. 2002. **Fungos micorrízicos arbusculares. Biotecnologia ciência e desenvolvimento**, nº 25, p. 12-20.

SMITH, E; READ, D.J. 2008. **Mycorrhizal symbioses** Third edition, Academic Press, p.815.

SMITH, S. E.; SMITH, F. A. 2011. Role of arbuscular mycorrhizas in plant nutrition and growth: New paradigms from cellular to ecosystem scales. **Annu. Rev. Plant Biol.** 62: 227-241.

SOARES, A. B. et al. 2009. Influência da luminosidade no comportamento de onze espécies forrageiras perenes de verão. **Rev. bras. Zootec.**, v.38, n.3, p. 443-451.

SOKA, G.; RITCHIE, M. et al. 2014. Arbuscular mycorrhizal symbiosis and ecosystem processes: Prospects for future research in tropical soils. **Open Journal of Ecology**, v.4, n. 1, p.11-22.

SKONIESKI, F. R. et al. 2011. Composição botânica e estrutural e valor nutricional de pastagens de azevém consorciadas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, n.3, p.550-556.

SOUSA, C. S. et al. 2013. Arbuscular mycorrhizal fungi within agroforestry and traditional land use systems in semi-arid Northeast Brazil. **Acta Scientiarum. Agronomy**. v. 35, n. 3, p. 307-314.

SOUSA, C. S. et al. 2014. Arbuscular mycorrhizal fungi in successional stages of caatinga in the semi-arid region of Brazil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n.1, p. 137-148.

SOUZA, S. O.; SANTANA, J.; SHIMOYA, A. 2002. Comportamento de gramíneas forrageiras tropicais isoladas e em associação com leguminosas na região norte-fluminense. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, p. 1554-1561.

SOUZA, A. A.; ESPÍNDOLA, G.B. 2000. Bancos de proteína de leucena e de guandu para suplementação de ovinos mantidos em pastagens de capim-buffel. **Revista Brasileira de Zootecnia**. 29(2): 365-372.

SU, Y. Y.; GUO, L. D. 2007. Arbuscular mycorrhizal fungi in non-grazed, restored and over-grazed grassland in the Inner Mongolia steppe. **Mycorrhiza**, v.17, p. 689-693. TAIZ, L.; ZEIGER, E. 2006. **Fisiologia vegetal**. 3ed. Porto Alegre. Artemed, p. 160.

TEIXEIRA, C. M. et al. 2009. Decomposição e liberação de nutrientes das palhadas de milho e milho + crotalária no plantio direto do feijoeiro. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.31, n. 4, p. 647-653.

TEXEIRA VITOR, C. M. et al. 2008. Rendimento e composição química do capim-braquiária introduzido em pastagem degradada de capim-gordura. **R. Bras. Zootec.** v.37, p. 2107-2114.

THEVATHASAN, N. V.; GORDON, A. M. 2004. Ecology of tree intercropping systems in the North temperate region: Experiences from southern Ontario, Canada. **Agroforest Systems**, v. 61, p. 257-268.

TIAN, Y.; CAO, F.; WANG, G. 2013. Soil microbiological properties and enzyme activity in Ginkgo-Tea agroforestry compared with monoculture. **Agroforestry Systems**, v.87: 1201-1210.

TÓTOLA, M.R., CHAER, G.M. 2002. **Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade do solo** In: Alvarez V., V.H., Schaefer, C.E.G.R., Barros, N.F., Mello, J.W.V., Costa, L.M. (eds.)

*Tópicos em ciência do solo*. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, pp. 195-276.

TRASAR-CEPEDA, C.; LEIRÓS, M.C.; GIL-SOTRES, F. 2008. Hydrolytic enzyme activities in agricultural and forest soils. Some implications for their use as indicators of soil quality. **Soil Biology and Biochemistry**, 40: 2146-2155.

TURNER, B. L. et al. 2002. B-glucosidase activity in pasture soils. **Applied Soil Ecology**, v.20, p. 157-162.

UBOTO, E. B.; TEWARI, L. 2014. Soil enzymes as bioindicators of soil ecosystem status. **Applied Ecology and Environmental Research**, v.13, p. 147-169.

UDAWATTA, R.P. et al. 2009. Soil enzyme activities and physical properties in a watershed managed under agroforestry and row-crop systems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 131: 98-104.

UHLEIN, A. et al. 2008. Associação de leguminosas tropicais com duas espécies de aveia sobre a produção de matéria seca. **Revista brasileira de Agroecologia**. v. 3, p. 107-110.

ULLAH, R. et al. 2013. Effect of cropping system and seasonal variation on soil microbial biomass and enzymatic activities in arid soils. **The Journal of Animal & Plant Sciences**, 23 (2), p. 493-499.

VALLEJO, V. E. et al. 2012. Effect land management and *Prosopis juliflora* (Sw.) DC trees on soil microbial community and enzymatic activities in intensive silvopastoral systems of Colombia. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. v.150, p. 139-148.

VANCE, E.D.; BROOKES, P.C.; JENKINSON, D.S. 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, 19: 703-707.

VARGAS, L.K.; SCHOLLES, D. 2000. Biomassa microbiana e produção de C-CO<sub>2</sub> e N mineral de um Podzólico Vermelho-Escuro submetido a diferentes sistemas de manejo. **R.Bras. Ci. Solo**, 24:35-42.

VOLTOLINI, T.V.; MORAES, S.A.; ARAÚJO, G.G.L.de.; OLIVEIRA, P.L.T.de.; PEREIRA, L.G.R. 2010. Urea levels in multiple supplement for lambs grazing on Buffel grass. **Acta Scientiarum – Animal Science**, v. 32, n.4, p. 461 – 465.

XIUFENG, S. et al. 2013. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi spore communities and its relations to plants under increased temperature and precipitation in a natural grassland. **Chinese Science Bulletin**, v.58, n.33, p. 4109-4119.

WALDER, F. et al. 2012. Mycorrhizal Networks: Common Goods of plants shared under unequal terms of trade. **Plant physiology**, v. 159, p. 789-797.

WALDROP, M.P.; BALSER, T.C.; FIRESTONE, M.K. 2000. Linking microbial community composition to function in a tropical soil. **Soil Biology and Biochemistry**, 32: 1837-1846.

WANG, G.; CAO, F. et al. 2011. Integrated evaluation of soil fertility in Ginkgo (*Ginkgo biloba* L.) agroforestry systems in Jiangsu, China. **Agroforest Systems**, 83: 89-100.

WICK, B.; TIESSEN, H.; MENEZES, R. S. C. 2000. Land quality changes following the conversion of the natural vegetation into silvopastoral systems in semi-arid NE Brazil. **Plant and Soil**. v. 222, p. 59-70.

WHITE, L. M. 1973. Carbohydrate Reserves of Grasses: A review. **Journal of Range Management**, v.26 (1), p. 13-18.

WILSON, J. R. 1998. Influence of planting four tree species on the yield and soil water status of green panic pasture in subhumid south-east Queensland. **Tropical grassland**. v.32, p. 209-220.

ZHANG, C., LIU, G., XUE, S., SONG, Z. 2011. Rhizosphere soil microbial activity under different vegetation types on the Loess Plateau, China. **Geoderma**, 161: 115-125.

ZHENG, C. et al. 2014. Shading decreases plant carbon preferential allocation towards the most beneficial mycorrhizal mutualist. **New phytologist**, IN PRESS.

ZOBEL, M.; OPIK, M. et al. 2014. Plant and arbuscular mycorrhizal fungal (AMF) communities – which drives which?. **Journal of Vegetation Science**. v. 25, p. 1133-1140.