



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
CÂMPUS UNIVERSITÁRIO DE RONDONÓPOLIS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

JACKELINE VIEIRA DOS SANTOS LAROCA

**INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO E SUA RELAÇÃO
COM A PRODUTIVIDADE EM SISTEMAS INTEGRADOS DE
PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA EM PLANTIO DIRETO**

RONDONÓPOLIS - MT 2018



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
CÂMPUS UNIVERSITÁRIO DE RONDONÓPOLIS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

JACKELINE VIEIRA DOS SANTOS LAROCA

**INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO E SUA RELAÇÃO
COM A PRODUTIVIDADE EM SISTEMAS INTEGRADOS DE
PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA EM PLANTIO DIRETO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Mato Grosso, Câmpus de Rondonópolis, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Orientador: Prof. Dr. Edicarlos Damacena de Souza

RONDONÓPOLIS - MT 2018

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

V658i Vieira dos Santos Laroça, Jackeline.
Indicadores de qualidade do solo e sua relação com a
produtividade em sistemas integrados de produção agropecuária em
plantio direto / Jackeline Vieira dos Santos Laroça. -- 2018
42 f. ; 30 cm.

Orientador: Edicarlos Damacena de Souza.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso,
Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Agrícola, Rondonópolis, 2018.
Inclui bibliografia.

1. Análise Multivariada. 2. Matéria orgânica do solo. 3.
Biomassa microbiana. 4. ILP. 5. Feijão caupi. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
CÂMPUS UNIVERSITÁRIO DE RONDONÓPOLIS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

FOLHA DE APROVAÇÃO

Título: INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO E SUA RELAÇÃO COM A PRODUTIVIDADE EM SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA EM PLANTIO DIRETO.

AUTORA: JACKELINE VIEIRA DOS SANTOS LAROCA

Dissertação defendida e aprovada em 11 de julho de 2018.

Presidente da Banca/ Orientador: Doutor Edicarlos Damacena de Souza

Instituição: Universidade Federal de Mato Grosso

Examinador Interno: Doutor Carlos Eduardo Avelino Cabral

Instituição: Universidade Federal de Mato Grosso

Examinadora Interna: Doutora Francine Damian da Silva

Instituição: Universidade Federal de Mato Grosso

Examinador Externo: Doutor Paulo César de Faccio Carvalho

Instituição: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Ao meu esposo João Paulo por todo amor, companheirismo, apoio e compreensão nesta etapa tão importante de nossas vidas.

Aos meus pais, Marielza e Valter Shimizu que sempre me apoiaram por todo este período mesmo à distância.

Aos meus avós Valquíra e João Cirilo e ao meu sogro Pedro pelos esforços não medidos nessa caminhada.

À minha irmã Juliane e às minhas sobrinhas Isabela e Melissa pelos momentos de descontração e muitas risadas.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço acima de tudo a Deus pela vida, pela sabedoria, por todas as minhas conquistas pessoais e profissionais.

À Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT) e ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola (PPGEAgri) e a todos os docentes do programa pelo suporte, ajuda e ensinamentos transmitidos com dedicação e atenção.

Ao meu orientador mais querido Prof. Dr. Edicarlos Damacena de Souza por ter me concedido esta oportunidade, pela orientação, paciência, pelo grande exemplo de profissionalismo e pelos ensinamentos e aconselhamentos muito além dos deveres de orientador que levarei para a vida toda.

Ao Caetano Polato e sua família pela concessão da área experimental e suporte, e por acreditar na eficiência da pesquisa do nosso grupo.

Ao mestre Rafael Cuissi pela paciência e ensinamentos em relação a estatística do trabalho, além do apoio e conselhos.

A todos os atuais e antigos integrantes do GPISI, Grupo de Pesquisa e Inovação em Sistemas Puros e Integrados de Produção Agropecuária, juntamente com a Prof^a. Dra. Francine Damian da Silva e Prof. Dr. Carlos Eduardo Cabral que foram essenciais em todos os momentos, pois sem vocês não existiria este trabalho.

Aos meus amigos que iniciaram comigo essa jornada na pós-graduação: Andressa Rodrigues Garcia, José Roberto Souza Oliveira, Laura Cristina Rezende das Neves, Luiz Fernando dos Santos Miranda, Sharrine Oliveira Marra, Olívia Paula Silva e Edson Godoy, que tornaram os dias mais agradáveis e divertidos. E em especial a minha irmã de mestrado Juliana Mendes Andrade de Souza, por ter sido uma grande companheira, amiga, sempre disposta a ajudar seja como fosse. Ao meu amigo Ícaro Camargo de Carvalho, vulgo “Pezão”, por toda ajuda, conselhos e, principalmente, por sempre me contagiar com seu bom de humor.

A todos os membros da célula semeadores, pelo apoio incondicional e orações durante esse período e por me auxiliar no amadurecimento da minha fé nesses últimos anos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de Mestrado, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), a Fundação AGRISUS – Agricultura Sustentável e a Rede ILPF pelo auxílio financeiro. A Embrapa pela parceira e suporte técnico durante o desenvolvimento dos projetos. E a todos que contribuíram para a realização deste trabalho, direta ou indiretamente, meus sinceros agradecimentos.

Ainda que eu andasse pelo vale da sombra da morte, não temeria mal algum, porque Tu estás comigo.

Salmo 23

RESUMO

INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO E SUA RELAÇÃO COM A PRODUÇÃO VEGETAL EM SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA EM PLANTIO DIRETO

O objetivo do trabalho foi avaliar a influência dos consórcios com leguminosas na fase pastagem do SIPA-PD no incremento de matéria orgânica, na atividade microbiológica do solo e produtividade de grãos, produção e qualidade do pasto. E identificar os indicadores de qualidade do solo com maior influência nas mudanças da produtividade do sistema. O experimento foi conduzido em Itiquira (MT) num Latossolo Vermelho distrófico, onde foram implantados, após colheita da soja, os tratamentos com gramíneas *Urochloa ruziziensis*, *U. brizantha* cultivar BRS Paiaguás, *Panicum maximum* cultivar BRS Tamani e *U. brizantha* cultivar BRS Piatã cultivadas solteiras e consorciadas com feijão caupi (*Vigna unguiculata*) cultivar BRS Tumucumaque e feijão guandu (*Cajanus cajan*) cultivar BRS Mandarim. O delineamento experimental foi de blocos casualizados com três repetições em esquema de parcelas subdivididas onde as gramíneas foram consideradas como parcelas e as subparcelas foram representadas pelas leguminosas. Verificou-se que os consórcios proporcionaram incrementos nos teores de C e N assim como nas suas frações particuladas e no índice de manejo de carbono. O C e N da biomassa microbiana também foram incrementados pela adoção dos consórcios com leguminosas, e os cultivos solteiros apresentaram valores elevados de respiração basal e quociente metabólico, evidenciando estresse na microbiota do solo. A produtividade vegetal foi influenciada positivamente pelos consórcios com caupi. A massa seca e a proteína bruta possui influência positiva e significativa na produção animal. E o C da biomassa microbiana seguido do N na matéria orgânica particulada foram os atributos que melhor explicaram as alterações na produtividade. As gramíneas Paiaguás e Piatã consorciadas com a leguminosa feijão-caupi proporcionam maiores incrementos nos atributos relacionado a qualidade do solo, refletindo também nas maiores produtividades do sistema.

Palavras-chave: Análise Multivariada, matéria orgânica do solo, biomassa microbiana, ILP, feijão caupi.

ABSTRACT

INDICATORS OF QUALITY OF THE SOIL AND HIS/HER RELATIONSHIP WITH THE PRODUCTIVITY IN INTEGRATED SYSTEMS OF AGRICULTURAL PRODUCTION IN DIRECT PLANTING

The objective of the work was to evaluate the influence of the consortia with leguminosas in the phase pasture of SIPA-PD in the increment of organic matter, in the activity microbiológica of the soil and productivity of grains and production and quality of the pasture. And to identify the indicators of quality of the soil with influences in the changes of the productivity of the system. The experiment was driven in Itiquira (MT) in a Latossolo Red distrófico, where they were implanted, after crop of the soy, the treatments with grassy *Urochloa ruziziensis*, *U. brizantha* to cultivate BRS Paiaguás, *Panicum maximum* to cultivate BRS Tamani and *U. brizantha* to cultivate BRS Piatã cultivated unmarried and associated with bean caupi (*Vigna unguiculata*) to cultivate BRS Tumucumaque and bean guandu (*Cajanus cajan*) to cultivate BRS Mandarim. The experimental delineamento was of blocks casualizados with three repetitions in outline of subdivided portions where the grassy ones were considered as portions and the subparcelas were represented by the leguminosas. It was verified that the consortia provided increments in the tenors of C and N as well as in their fractions particulate and in the index of handling of carbon. C and N of the microbial biomass were also increased by the adoption of the consortia with leguminosas, and the single cultivations presented high values of basal breathing and metabolic quotient, evidencing stress in the microbiota of the soil. Plant productivity was positively influenced by consortiums with cowpea. Dry matter and crude protein have a positive and significant influence on animal production. And the C of the microbial biomass followed by the N in the organic matter was used in the tests that improved explicitly as the changes in productivity. The Paiaguás and Piatã grasses intercropped with leguminous cowpea beans provide greater increases in attributes related to soil quality, also reflecting the higher yields of the system.

Key words: Multivariate analysis, organic matter of the soil, microbial biomass, ILP, bean caupi.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Distribuição de precipitações pluviométricas (mm) e de temperaturas médias (°C), durante a condução do estudo na área experimental. **15**
- Figura 2.** Comparação par a par pela Análise de Similaridade (ANOSIM) para as variáveis relacionadas a matéria orgânica em Sistemas Integrados de Produção Agropecuária em Plantio Direto com consórcios com leguminosas na fase pastagem. RC = Ruziziensis consorciado com caupi; RG = Ruziziensis consorciado com guandu; RS = Ruziziensis cultivada solteira; PAC = Paiaguás consorciado com caupi; PAG= Paiaguás consorciado com caupi; PAS = Paiaguás cultivado solteiro; TC = Tamani consorciado com caupi; TG = Tamani consorciado com guandu; TS = Tamani cultivado solteiro; PIC = Piatã consorciado com caupi; PIG = Piatã consorciado com guandu; PIS = Piatã consorciado solteiro. **19**
- Figura 3.** Comparação par a par pela Análise de Similaridade (ANOSIM) para as variáveis relacionadas a biomassa microbiana do solo em Sistemas Integrados de Produção Agropecuária em Plantio Direto com consórcios com leguminosas na fase pastagem. RC = Ruziziensis consorciado com caupi; RG = Ruziziensis consorciado com guandu; RS = Ruziziensis cultivada solteira; PAC = Paiaguás consorciado com caupi; PAG= Paiaguás consorciado com caupi; PAS = Paiaguás cultivado solteiro; TC = Tamani consorciado com caupi; TG = Tamani consorciado com guandu; TS = Tamani cultivado solteiro; PIC = Piatã consorciado com caupi; PIG = Piatã consorciado com guandu; PIS = Piatã consorciado solteiro. **21**
- Figura 4.** Comparação par a par pela Análise de Similaridade (ANOSIM) para as variáveis relacionadas a produtividade em Sistemas Integrados de Produção Agropecuária em Plantio Direto com consórcios com leguminosas na fase pastagem. RC = Ruziziensis consorciado com caupi; RG = Ruziziensis consorciado com guandu; RS = Ruziziensis cultivada solteira; PAC = Paiaguás consorciado com caupi; PAG= Paiaguás consorciado com caupi; PAS = Paiaguás cultivado solteiro; TC = Tamani consorciado com caupi; TG = Tamani consorciado com guandu; TS = Tamani cultivado solteiro; PIC = Piatã consorciado com caupi; PIG = Piatã consorciado com guandu; PIS = Piatã consorciado solteiro. **23**
- Figura 5** Efeitos independentes das variáveis de massa seca e proteína bruta da pastagem, relacionando a produtividade animal do sistema, ambas apresentaram relação significativa... **24**
- Figura 6.** Efeitos independentes das variáveis do solo, relacionando a produtividade vegetal do sistema. **A** = Massa Seca, relação significativa para COT; **B** = Proteína bruta, relação positiva para COT, NT e N-BM; **C** = Soja, com relação significativa para NT seguido de NMOP. COT = Teores de carbono orgânico total; COP = Teores de carbono orgânico particulado; NT = Teores de nitrogênio total; NMOP = Teores de nitrogênio da matéria orgânica particulada; C-BM = Carbono da biomassa microbiana; N-BM = Nitrogênio da biomassa microbiana; qCO_2 = Quociente metabólico e Q_{mic} = Quociente microbiano . **25**

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Caracterização química e física do Latossolo Vermelho distrófico, na camada de 0 a 20 cm, antes da implantação do experimento no ano de 2014 em Itiquira/MT.....**14**
- Tabela 2.** Atributos relacionados à matéria orgânica na camada de 0-10cm, em Sistema Integrado de Produção Agropecuária em Plantio Direto com consórcios na fase pastagem.....**17**
- Tabela 3.** Atributos microbiológicos em Sistema Integrado de Produção Agropecuária sob Plantio Direto com consórcio na fase pastagem.....**19**
- Tabela 4.** Atributos relacionados a produtividade em Sistemas Integrados de Produção Agropecuária em Plantio Direto com consórcio na fase pastagem.....**21**
- Tabela 5.** Análise multivariada baseada na distância para modelos lineares (DistLM) para a produtividade em relação às variáveis de atividade microbiana e matéria orgânica em Sistema Integrado de Produção Agropecuária sob Plantio Direto com consórcio na fase pastagem.....**23**

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. MATERIAL E MÉTODOS	15
3. RESULTADOS	19
3.1 MATÉRIA ORGÂNICA	19
3.2 ATIVIDADE MICROBIANA DO SOLO.....	21
3.3 PRODUTIVIDADE	22
3.4 INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO INFLUENCIANDO A PRODUTIVIDADE	25
4. DISCUSSÃO	27
4.1 MATÉRIA ORGÂNICA	27
4.2 BIOMASSA MICROBIANA.....	28
4.3 PRODUTIVIDADE	29
4.4 INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO INFLUENCIANDO A PRODUTIVIDADE	31
5. CONCLUSÕES	33
6. REFERÊNCIAS	34
Anexo A - Comparação par a par pela análise de similaridade das variáveis relacionadas a matéria orgânica em SIPA-PD.....	39
Anexo B- Comparação par a par pela análise de similaridade das variáveis relacionadas a biomassa microbiana em SIPA-PD	41
Anexo C- Comparação par a par pela análise de similaridade das variáveis relacionadas a produtividade em SIPA-PD	43

1. Introdução

As limitações à abertura de novas frentes agrícolas aliadas ao crescimento da população mundial e aos problemas ambientais exige que a agricultura produza alimentos suficientes para atender esta demanda e, ainda, que seja eficiente em ampliar serviços ecossistêmicos (Foley et al., 2011; Doré et al., 2011). E essa necessidade de sistemas sustentáveis e eficientes coloca os Sistemas Integrados de Produção Agropecuária sob Plantio Direto (SIPA-PD) em evidência, uma vez que visam, além da viabilidade econômica, a adequação ambiental, integrando atividades agrícolas e pecuárias na mesma área, em cultivo consorciado, em sucessão ou em rotação (Balbinot Jr et al., 2009, FAO, 2010; Lemaire et al., 2014).

Atualmente, o Brasil possui cerca de 11,5 milhões ha com SIPA em que, desse total, 4,5 milhões ha se encontra na região Centro-Oeste (Embrapa, 2017). E a modalidade mais adotada nessa região, especificamente nos estados de Mato Grosso e Goiás, é a sucessão utilizando a cultura da soja na safra e pasto de *Urochloa ruziziensis* na segunda safra (Wruck et al., 2015). Contudo, são necessárias pesquisas que visem aperfeiçoar o sistema e que ofereçam novas opções e modalidades que mais se adequem a região. Nesse contexto, o aumento da diversidade de espécies, por meio dos consórcios com leguminosas na fase pastagem, pode contribuir significativamente para os SIPA-PD, pois pode proporcionar maior cobertura do solo, maior adição de resíduos vegetais, em quantidade e qualidade, aumenta o aporte de nitrogênio ao solo, além elevar os teores de proteína na dieta dos ruminantes, favorecendo maior ganho de peso. Paciullo et al. (2003) verificaram que o consórcio entre leguminosas e gramíneas contribuiu como excelente fonte de forragem aos animais, principalmente na época seca do ano, além de melhorar o valor nutritivo, devido aos maiores teores de proteína bruta e maior digestibilidade da matéria seca.

Nessa linha, a utilização de consórcios na fase pastagem em SIPA-PD pode promover melhorias na nutrição das plantas por meio da maior ciclagem de nutrientes, visto que esses sistemas integrados a longo prazo, permitem um ciclo de nutrientes constante e mais eficientes devido as diferentes taxas de liberação dos diversos componentes presentes no sistema (Assmann et al., 2017). Além disso, podem favorecer o fluxo e armazenamento de água, elevando a qualidade do solo (Ryschawy et al., 2017) e permitem a diversificação das fontes de receitas, diminuindo dessa forma os riscos de produção e os impactos negativos ao meio ambiente.

Ainda, a utilização desses consórcios deve contribuir para o incremento de carbono no solo, devido a manutenção dos resíduos vegetais na superfície, aliada à ausência de revolvimento do solo e a presença do componente animal (Franzluebbers & Stuedemann, 2009; Guareschi et al., 2012), além de beneficiar também o aumento da diversidade microbiana melhorando, dessa forma a fertilidade e os atributos físicos do solo (Gazolla et al., 2015). Nesse sentido, Sant-Anna et al. (2017) em estudo no Cerrado verificaram que, após 22 anos de implantação, os SIPA permitiram acúmulo de C e N no solo (0,0-1,0 m), quando comparados a áreas permanentemente em preparo convencional. Por outro lado, Carneiro et al. (2008) observaram maiores teores de carbono na biomassa microbiana em SIPA-PD, com valores 50% superiores, em relação ao Cerrado nativo.

Porém, por serem sistemas dinâmicos e complexos, em virtude das interações e do sinergismo presente entre os diversos componentes, é necessário que a sua avaliação seja feita por meio de múltiplos atributos. Nessa linha, praticamente inexistem estudos que avaliem diversos atributos, principalmente os ligados à atividade biológica do solo, e que os relacionem com a produtividade vegetal em SIPA-PD. Nesse contexto, se destaca a análise multivariada, pois possibilita analisar situações que envolvem grande número de variáveis simultaneamente, procurando contemplar todas as variáveis de forma integrada explorando todas suas inter-relações. Além disso, surge a necessidade de entendimento, por meio de correlações, das variáveis que mais contribuem para a caracterização e, ou, alteração do sistema (Zuber et al., 2017).

Desse modo, acredita-se que os consórcios com leguminosas na fase pastagem, em áreas de estabilização dos SIPA-PD, contribua de forma direta para a manutenção da qualidade do solo, refletindo em aumento da produtividade de grãos, além de melhorar a qualidade do pasto para o animal. E que a análise multivariada seja eficiente para evidenciar as interações entre os atributos do sistema e sua contribuição na produtividade do mesmo.

Nesse sentido, o objetivo do trabalho foi avaliar a influência dos consórcios com leguminosas na fase pastagem em SIPA-PD no (i) incremento de matéria orgânica, na (ii) atividade microbiana do solo e (iii) produtividade de grãos e produção e qualidade do pasto. A partir destes resultados, identificar quais (iv) indicadores possuem maior influência nas mudanças na produção vegetal do sistema.

2. Material e Métodos

O protocolo experimental foi implantado na Fazenda Gravataí (54°51'15.51" W, 17°9'36.91" S), situada no Município de Itiquira-MT, num Latossolo Vermelho distrófico textura argilosa. O clima da região é classificado como Aw segundo Koppen, com período chuvoso entre os meses de outubro a abril e seco entre maio a setembro. Monitorou-se a distribuição das chuvas e temperaturas médias ocorridas na área experimental durante os anos de 2016 a 2018 (Figura 1).

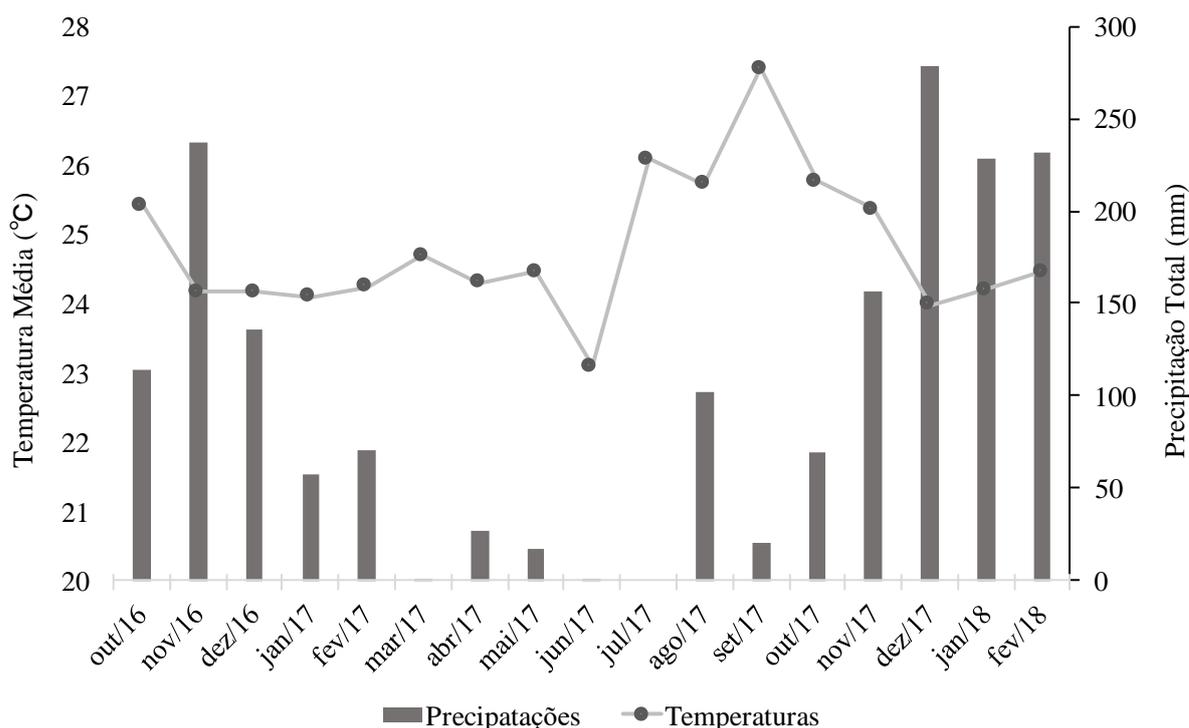


Figura 1. Distribuição de precipitações pluviométricas (mm) e de temperaturas médias (°C), durante a condução do estudo na área experimental.

Anteriormente ao experimento a área foi conduzida sob plantio direto com a cultura da soja na safra e, em alguns anos, o milho safrinha foi cultivado, com esse sistema sendo conduzido do ano de 1993 até o ano de 2004. Posteriormente, a propriedade se especializou no cultivo de algodão até o ano de 2011. Na safra 2011/2012 foi introduzido o SIPA-PD na propriedade com soja na safra e pasto de *Urochloa ruziziensis* na safrinha. Em 2014 implantou-se o experimento com a cultura da soja e, a partir daí, sendo cultivada na safra e os tratamentos consorciados após a colheita da soja, na safrinha. Na implantação do experimento foi realizada amostragem de solo a fim de se obter a caracterização química e física da área experimental (Tabela 1).

Tabela 1. Caracterização química e física do Latossolo Vermelho distrófico, na camada de 0 a 20 cm, antes da implantação do experimento no ano de 2014 em Itiquira/MT.

pH	Ca	Mg	Al	CTC	K	P	V	Areia	Argila	Silte	Ds
	-----cmol _c dm ⁻³ -----				---mg dm ⁻³ ---		%	-----g kg ⁻¹ -----			kg dm ⁻³
5,3	2,7	0,9	0,2	8,8	91,0	28,2	43,4	400	480	120	1,38

A área total do experimento é de 120 ha a qual foi dividida em piquetes de aproximadamente 3,5 ha em um delineamento experimental de blocos casualizados com três repetições em que as gramíneas *Urochloa ruziziensis* cultivar Kennedy, *U. brizantha* cultivar BRS Paiaguás, *Panicum maximum* cultivar BRS Tamani e *U. brizantha* cultivar BRS Piatã foram conduzidas solteiras e também consorciadas com as leguminosas feijão caupi (*Vigna unguiculata*) cultivar BRS Tumucumaque e feijão guandu (*Cajanus cajan*) cultivar BRS Mandarim, totalizando 12 tratamentos.

Na semeadura da soja cultivar TMG 1174 RR, que é realizada anualmente entre os meses de outubro e novembro, foram aplicados, a lanço, as seguintes doses de fertilizantes: 50 kg ha⁻¹ de monoamônio fosfato (MAP), 120 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio e 290 kg ha⁻¹ de superfosfato simples. Enquanto que a aplicação de herbicidas, fungicidas e inseticidas foi realizada de acordo com a recomendação para a cultura e conforme a necessidade a partir da ocorrência de pragas e doenças no ciclo da soja.

Realizou-se a colheita da soja em toda parcela com uma colhedora automotriz a fim de se obter o peso de grãos. Para o presente trabalho utilizou-se duas safras, a 2016/2017 que foi colhida em meados de fevereiro de 2017 e a safra 2017/2018 colhida em meados de fevereiro de 2018. A produtividade foi corrigida em função da umidade a 13%.

A semeadura das gramíneas e leguminosas, que ocorre após a colheita da soja a cada ano, foi realizada a lanço e em linha com espaçamentos de 0,45 m, respectivamente. Utilizou-se 4 kg ha⁻¹ de sementes puras viáveis de gramíneas e 21 kg ha⁻¹ das leguminosas e não houve adubação para a fase pastagem.

Em 30 de abril de 2017, uma semana antes da entrada dos animais, realizou-se a coleta de forragem, rente ao solo, para determinação da massa seca do pasto. Utilizou-se o método do quadrado para as coletas, que consiste no corte da forragem presente dentro de uma área conhecida delimitada por moldura metálica lançada ao acaso em diferentes pontos da área. No caso do presente estudo utilizou-se um quadrado de 0,5 m x 0,5 m (0,25 m²), sendo amostrados 6 pontos por tratamento.

Após o corte da forragem a mesma foi pesada e, posteriormente, seca em estufa de circulação forçada à 60°C por 72 horas e, em seguida, se determinou a massa seca e aplicou-se

a conversão para kg ha^{-1} . Os teores de proteína bruta (%PB) foram determinados pelo método de Kjeldahl, conforme descrito por Silva (1990).

No início de maio de 2017 ocorreu a entrada dos animais em todos os tratamentos, mesmo com as gramíneas apresentando crescimento diferenciado entre si. Esse manejo foi adotado para que esse fator não fosse uma causa de variação. A taxa de lotação foi de acordo com a disponibilidade de matéria seca para cada gramínea: Ruziziensis + Caupi = $2,6 \text{ UA ha}^{-1}$; Ruziziensis + Guandu = $1,9 \text{ UA ha}^{-1}$; Ruziziensis Solteiro = $1,5 \text{ UA ha}^{-1}$; Paiaguás + Caupi = $3,3 \text{ UA ha}^{-1}$; Paiaguás + Guandu = $2,8 \text{ UA ha}^{-1}$; Paiaguás Solteiro = $2,1 \text{ UA ha}^{-1}$; Tamani + Caupi = $2,8 \text{ UA ha}^{-1}$; Tamani + Guandu = $2,0 \text{ UA ha}^{-1}$; Tamani solteiro = $1,8 \text{ UA ha}^{-1}$; Piatã + Caupi = $3,3 \text{ UA ha}^{-1}$; Piatã + Guandu = $3,1 \text{ UA ha}^{-1}$ e Piatã Solteiro = $2,5 \text{ UA ha}^{-1}$. Utilizaram-se novilhas da raça nelore com peso entre 210 a 260 kg as quais permaneceram na área em pastejo contínuo até o início mês de agosto (90 dias), com posterior pesagem dos animais.

Já a amostragem do solo foi realizada após a colheita da soja, em 25 de fevereiro de 2017, ou seja, 29 meses após o início do experimento. O solo foi amostrado na camada de 0-0,10 m com auxílio do trado holandês e espátula. Coletou-se cinco amostras simples em pontos aleatórios de cada parcela. Essas amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e devidamente identificadas, para posterior envio ao laboratório.

No laboratório as amostras de solo destinadas às análises microbianas foram armazenadas em local refrigerado a uma temperatura de 4°C . Já as amostras para determinação dos atributos químicos passaram por um processo de secagem ao ar e, posteriormente, foram tamisadas em peneira de 2 mm e armazenadas.

Os teores de carbono orgânico total (COT) foram determinados por oxidação em dicromato, enquanto que os teores de nitrogênio total (NT) foram obtidos por destilação de micro kjeldahl, de acordo com a metodologia proposta por Tedesco et al., (1995). O fracionamento físico da matéria orgânica foi realizado segundo Cambardella & Elliot (1992), onde 20 g de solo e 80 ml de solução de hexametáfosfato de sódio ($7,0 \text{ g L}^{-1}$) foram agitados durante 16 horas em agitador horizontal e, em seguida, a suspensão foi passada em peneira de $53 \mu\text{m}$, com auxílio de jatos de água. O material retido na peneira, que consiste na matéria orgânica particulada (MOP), foi seco em estufa a 65°C até atingir peso constante, quantificado em relação a sua massa, macerado em grau de porcelana e analisado os teores de C e N (Tedesco et al., 1995). O cálculo do índice de manejo de carbono (IMC) e de seus componentes foi realizado conforme Blair et al. (1995), com as adaptações de Diekow et al. (2005), segundo a expressão $\text{IMC} = \text{IEC} \times \text{ILC} \times 100$, em que: IEC, é o estoque de COT do

tratamento/estoque de COT da referência; ILC é a labilidade do C no tratamento/ labilidade do C na referência; L é o estoque de C orgânico lábil/estoque de C orgânico não lábil.

Para a análise da atividade microbiana do solo realizou-se a determinação do carbono a biomassa microbiana (C-BM) (Vance et al., 1987) e do nitrogênio da biomassa microbiana (N-BM) (Brookes, 1995). Enquanto que a respiração basal (RB) do solo foi avaliada pela quantificação do CO₂ liberado durante a incubação do solo, onde o CO₂ foi capturado em solução de NaOH 0,05 mol L⁻¹ e, posteriormente, titulado com HCl (Alef & Nanninpiéri, 1995). O quociente metabólico (qCO_2) foi obtido pela relação entre a respiração basal e o C-BM (Anderson & Domsh, 1993) e o quociente microbiano (Qmic) pela razão entre o C da biomassa microbiana e o COT (Sparling & West, 1988).

Para as análises estatísticas, os dados foram agrupados em três grandes grupos: matéria orgânica (COT, NT, COP, NMOP e IMC), atividade microbiana (C-BM, N-BM, RB, qCO_2 e Qmic) e produtividade (soja, matéria seca, proteína bruta do pasto e animal). Para cada grupo de dados foi realizada primeiramente a Análise de Variância e, quando significativa, foi aplicado o teste de Scott Knott a 5% de probabilidade, utilizando o programa Sisvar versão 5.6 (Ferreira, 2011). Posteriormente, aplicou-se as análises multivariadas, com a análise de similaridade (ANOSIM), utilizando o índice de distâncias euclidianas, com o objetivo de verificar a diferença entre os tratamentos. Na sequência, se realizou análises multivariadas baseadas em distância para modelos lineares (DISTLM) com o objetivo de identificar quais variáveis do grupo de matéria orgânica e da atividade microbiana mais explicam as mudanças na produtividade de forma geral. As análises multivariadas foram realizadas com o auxílio do software Primer v6 e Permanova + (Anderson, 2005). Como pré-tratamento dos dados se realizou a standartização com o objetivo de padronizar as unidades das variáveis.

Por fim, se realizou a partição hierárquica para avaliar os efeitos independentes de cada variável do solo estudada em relação a produtividade. Em relação ao ganho de peso animal, como no experimento não havia tratamentos sem o pastejo optou-se então por não incluir essa variável nas análises multivariadas, realizado apenas a análise de partição hierárquica para verificar qual variável da pastagem (matéria seca e proteína bruta) possui maior influência na produtividade animal. Para essa análise utilizou-se o programa R 2.15.1 (R Core Team, 2012), onde a significância dos efeitos independentes foi obtida por meio da randomização com 500 aleatorizações (MacNally, 2000)

3. RESULTADOS

3.1 Matéria Orgânica

Os consórcios promoveram alterações em todas as variáveis relacionadas a matéria orgânica do solo (MOS) (Tabela 2), tendo como destaques as gramíneas Piatã e Paiaguás que apresentaram incrementos consideráveis em relação às demais gramíneas (Ruziziensis e Tamani). O Piatã consorciado com o caupi promoveu incremento no COT, no NT, no COP e no NMOP, em relação ao cultivo solteiro. Já quando consorciado com o guandu se destacou para as variáveis relacionados ao nitrogênio da MOS com incremento de 107% de NT e 172% de NMOP em relação ao cultivo solteiro.

Já a gramínea Paiaguás consorciada com caupi se destacou para variáveis de NT com incrementos de 98%, de COP com 185% e NMOP com 173%, em relação ao cultivo solteiro. Por outro lado, o Paiaguás consorciado com Guandu incrementou o NMOP em relação ao cultivo solteiro. Assim, essas melhorias em atributos relacionados à MOS favoreceram o incremento no IMC (Tabela 2), principalmente quando da utilização do Piatã e Paiaguás consorciados com o caupi, em relação ao valor de referência (cultivo solteiro).

Tabela 2. Atributos relacionados à matéria orgânica, na camada de 0-10 cm, em Sistema Integrado de Produção Agropecuária em Plantio Direto com consórcios na fase pastagem.

Tratamentos	COT	NT	COP	NMOP	IMC
	----- (g kg ⁻¹) -----				%
RC	31,50 d	11,90 b	6,65 d	1,50 c	192, 29 c
RG	24,30 e	10,48 c	5,60 e	1,25 b	171,56 c
RS	24,40 e	6,52 e	3,75 g	0,63 d	100,00 d
PaC	44,10 b	15,83 a	11, 71 a	1,91 a	448,21 a
PaG	38,30 c	12,66 b	10,48 b	1,90 a	328,31 b
PaS	24,05 e	8,01 d	4,11 f	0,70 d	100,00 d
TC	37,76 c	12,97 b	9,75 c	1, 63 b	296, 72 b
TG	35,06 c	11,27 b	9,41 c	1,55 b	292,36 b
TS	25,53 e	6,27 e	4,68 f	0,75 d	100,00 d
PiC	47,85 a	15,98 a	11,65 a	1,88 a	473,64 a
PiG	36,95 c	15,01 a	10,68 b	1,80 a	343,13 b
PiS	22,70 e	7,24 d	3,25 g	0,69 d	100,00 d
CV (%)	6,04	5,92	5,25	5,14	11,61

COT = Teores de carbono orgânico total; NT = Teores de nitrogênio total; COP = Teores de carbono orgânico particulado; NMOP = Teores de nitrogênio da matéria orgânica particulada, IMC = Índice de manejo de carbono. RC = Ruziziensis consorciado com caupi; RG = Ruziziensis consorciado com guandu; RS = Ruziziensis cultivada solteira; PAC = Paiaguás consorciado com caupi; PAG= Paiaguás consorciado com guandu; PAS = Paiaguás cultivado solteiro; TC = Tamani consorciado com caupi; TG = Tamani consorciado com guandu; TS = Tamani cultivado solteiro; PIC = Piatã consorciado com caupi; PIG = Piatã consorciado com guandu; PIS = Piatã consorciado solteiro. Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem pelo teste de Scott-Knot a 5 % de significância.

A análise de similaridade (ANOSIM) evidencia o efeito dos consórcios nos atributos da MOS, apresentando a formação de quatro grupos distintos (Figura 2). O primeiro grupo, posicionado a esquerda do gráfico, é representado pelos tratamentos solteiros, os quais apresentam alta similaridade (R estatísticos inferiores a 1 e P valores > 0,05, Anexo 1). Por outro lado, ocorre a formação de um grupo totalmente oposto às gramíneas solteiras, que é posicionado à direita do gráfico, composto pelo Paiaguás e Piatã consorciados com caupi. Um grupo intermediário à esses outros dois é formado por Paiaguás e Piatã ambos consorciados com guandu e pelo Tamani consorciado com caupi e guandu (R estatísticos inferiores a 1 e P valores > 0,05 Anexo 1). O tratamento com Ruziziensis consorciado com caupi e guandu formaram o quarto grupo isolado, porém mais próximo aos tratamentos solteiros à esquerda do gráfico.

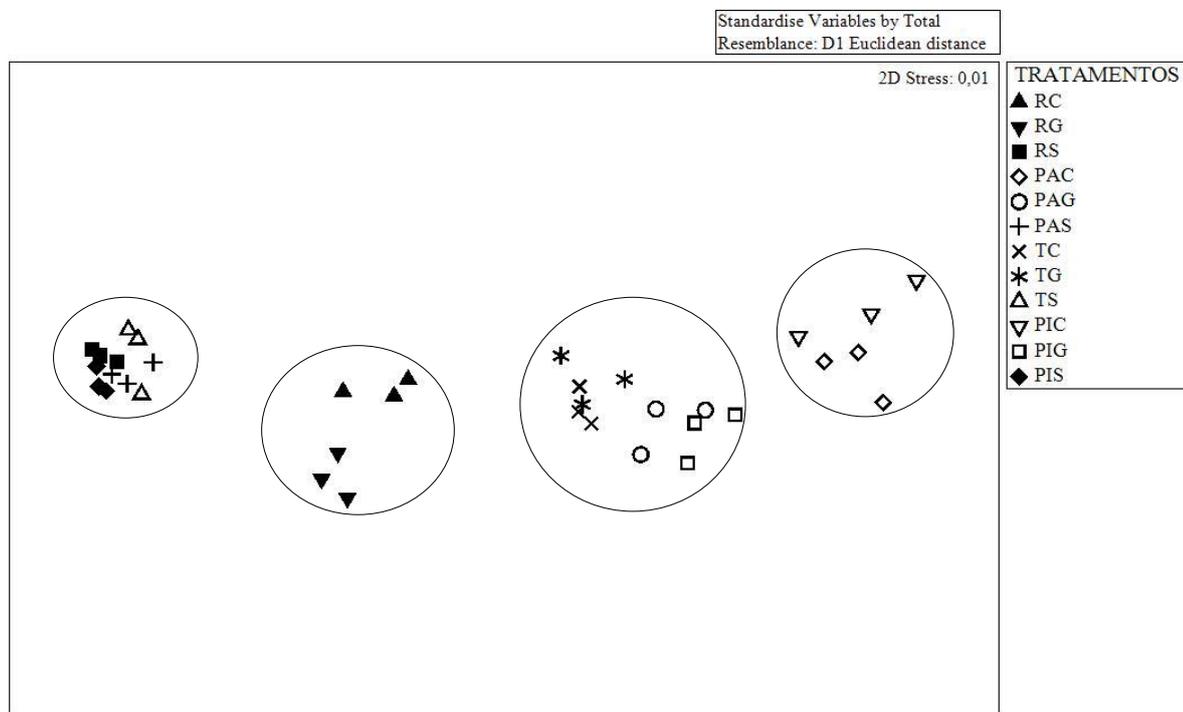


Figura 2. Comparação par a par pela Análise de Similaridade (ANOSIM) para as variáveis relacionadas a matéria orgânica do solo em Sistemas Integrados de Produção Agropecuária em Plantio Direto com consórcios com leguminosas na fase pastagem. RC = Ruziziensis consorciado com caupi; RG = Ruziziensis consorciado com guandu; RS = Ruziziensis cultivada solteira; PAC = Paiaguás consorciado com caupi; PAG= Paiaguás consorciado com guandu; PAS = Paiaguás cultivado solteiro; TC = Tamani consorciado com caupi; TG = Tamani consorciado com guandu; TS = Tamani cultivado solteiro; PIC = Piatã consorciado com caupi; PIG = Piatã consorciado com guandu; PIS = Piatã consorciado solteiro.

3.2 Atividade Microbiana do Solo

Para os atributos relacionados à atividade microbiana do solo observa-se efeito positivo dos consórcios em todas as variáveis analisada desse grupo (Tabela 3). Verifica-se ainda que o comportamento é semelhante à MOS, com destaque para as gramíneas Paiaguás e Piatã, que proporcionaram melhores resultados quando consorciadas com o caupi, apresentando acréscimos no C-BM e no Qmic, em comparação aos cultivos solteiros. Para as variáveis de RB e $q\text{CO}_2$, responsáveis por medirem a respiração específica da biomassa microbiana, o consórcio dessas duas gramíneas com o caupi promoveram redução nesse atributo.

Em relação ao N-BM, os maiores incrementos foram observados no Tamani com incremento de 219% quando consorciado com o feijão caupi e 148% quando consorciado com o feijão guandu em relação aos cultivos solteiros (Tabela 3).

Tabela 3. Atributos microbiológicos em Sistema Integrado de Produção Agropecuária sob Plantio Direto com consórcio na fase pastagem.

Tratamentos	C-BM	N-BM	RB	$q\text{CO}_2$	Qmic
	mg C Kg ⁻¹ solo	Mg CO ₂ Kg ⁻¹ de solo dia ⁻¹	mg C-CO ₂ kg ⁻¹ solo hora ⁻¹	µg C-BM mg C-CO ₂	%
RC	881,52 b	46,79 b	4,69 b	5,38 b	2,26 c
RG	769,48 b	42,01 c	4,39 c	5,59 b	2,10 c
RS	357,38 c	25,42 d	5,51 b	20,35 a	0,69 d
PaC	965,33 a	55,78 a	3,66 d	5,05 b	4,45 a
PaG	942,21 b	46,93 b	4,17 c	5,17 b	3,19 b
PaS	365,24 c	21,99 d	6,75 a	21,48 a	1,20 d
TC	912,38 b	65,79 a	2,68 d	4,02b	2,72 c
TG	821,40 b	51,18 a	3,14 d	5,79 b	2,21 c
TS	222,86 d	20,63d	5,41 b	19,00 a	0,75 d
PiC	994,40 a	50,72 b	2,43 d	4,53 b	4,92 a
PiG	930,77 b	47,60 b	5,50 b	6,88 b	2,13 c
PiS	361,44 c	30,78 d	6,36 a	19,00 a	1,45 d
CV (%)	8,29	13,06	14,33	14,95	23,84

C-BM = Carbono da biomassa microbiana; N-BM = Nitrogênio da biomassa microbiana; RB = Respiração basal; $q\text{CO}_2$ = Quociente metabólico; Qmic = Quociente microbiano. RC = Ruziziensis consorciado com caupi; RG = Ruziziensis consorciado com guandu; RS = Ruziziensis cultivada solteira; PAC = Paiaguás consorciado com caupi; PAG= Paiaguás consorciado com guandu; PAS = Paiaguás cultivado solteiro; TC = Tamani consorciado com caupi; TG = Tamani consorciado com guandu; TS = Tamani cultivado solteiro; PIC = Piatã consorciado com caupi; PIG = Piatã consorciado com guandu; PIS = Piatã cultivado solteiro. Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem pelo teste de Scott-Knot a 5 % de significância.

A ANOSIM confirma o que foi apresentado anteriormente, pois verifica-se que as gramíneas Paiaguás e Piatã consorciadas com caupi formaram um grupo, deslocado a direita do gráfico, demonstrando similaridade entre si (Figura 3). É possível observar que as maiores discrepâncias ocorreram quando se comparou os tratamentos solteiros com os que possuíam consórcios (R estatístico iguais a 1; Anexo 1), em que os todos os solteiros se agruparam do lado esquerdo do gráfico. Por outro lado, um grupo intermediário foi composto pelos demais tratamentos, demonstrando novamente o efeito dos consórcios nos tratamentos analisados.

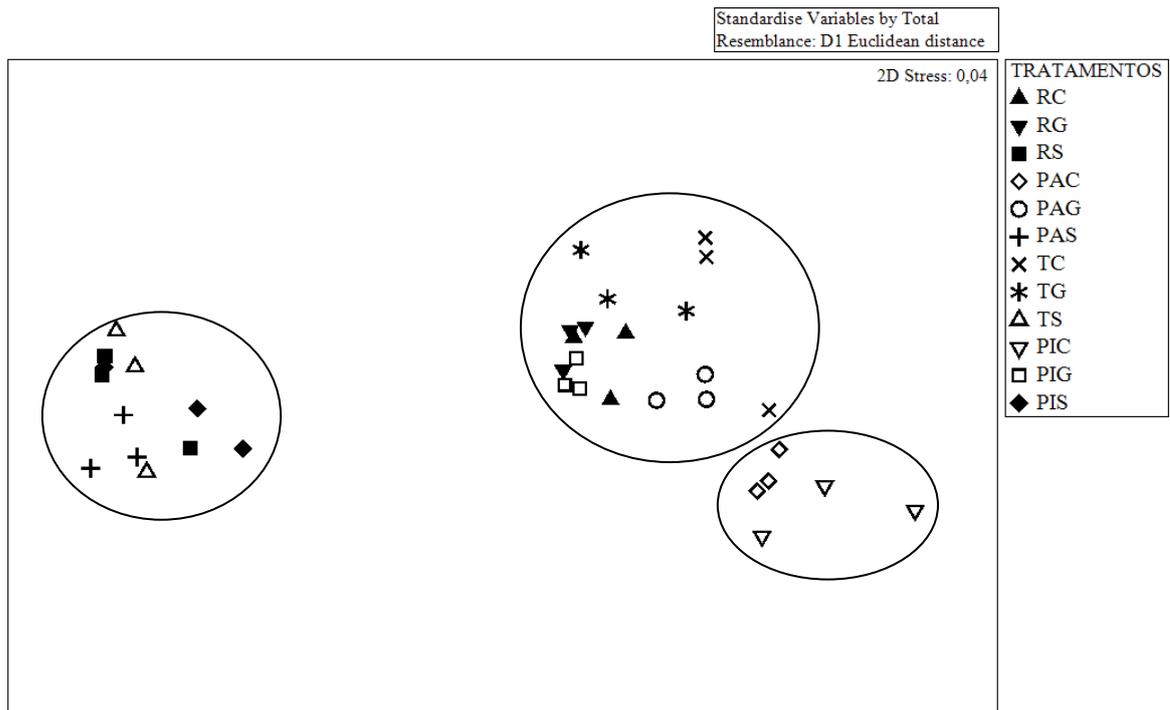


Figura 3. Comparação par a par pela Análise de Similaridade (ANOSIM) para as variáveis relacionadas a biomassa microbiana do solo em Sistemas Integrados de Produção Agropecuária em Plantio Direto com consórcios com leguminosas na fase pastagem. RC = Ruziensiensis consorciado com caupi; RG = Ruziensiensis consorciado com guandu; RS = Ruziensiensis cultivada solteira; PAC = Paiaguás consorciado com caupi; PAG= Paiaguás consorciado com guandu; PAS = Paiaguás cultivado solteiro; TC = Tamani consorciado com caupi; TG = Tamani consorciado com guandu; TS = Tamani cultivado solteiro; PIC = Piatã consorciado com caupi; PIG = Piatã consorciado com guandu; PIS = Piatã consorciado solteiro.

3.3 Produtividade

Para as variáveis da produtividade (soja, pasto e qualidade do pasto) percebe-se que os resultados continuam seguindo a mesma tendência dos apresentados anteriormente, com melhorias nos sistemas consorciados em relação aos solteiros (Tabela 4).

Tabela 4. Atributos relacionados a produtividade em Sistemas Integrados de Produção Agropecuária em Plantio Direto com consórcio na fase pastagem.

Tratamentos	Soja	Soja	Produção Massa Seca	Proteína Bruta
	Safra 2017	Safra 2018		
	-----kg ha ⁻¹ -----			%
RC	4252 a	4878a	2723,3 a	15,0 a
RG	4152 a	4704b	1835,9 b	12,1 b
RS	3450 c	4653b	1844,9 b	12,5 b
PaC	4036 a	4747b	2175,1 b	14,3 a
PaG	3513 c	4622b	1979,3 b	12,2 b
PaS	3430 c	4633b	2125,5 b	14,1 a
TC	3946 a	4912a	2349,5 b	16,1 a
TG	3475 c	4795b	2336,5 b	15,5 a
TS	3460 c	4673b	2248,1 b	13,1 b
PiC	4281 a	4964a	2603,9 a	15,0 a
PiG	4247 a	4817a	2100,4 a	14,2 a
PiS	3420 c	4613b	1596,8 b	15,8 a
CV (%)	2,6	1,9	18,0	6,1

RC = Ruziziensis consorciado com caupi; RG = Ruziziensis consorciado com guandu; RS = Ruziziensis cultivada solteira; PAC = Paiaguás consorciado com caupi; PAG= Paiaguás consorciado com guandu; PAS = Paiaguás cultivado solteiro; TC = Tamani consorciado com caupi; TG = Tamani consorciado com guandu; TS = Tamani cultivado solteiro; PIC = Piatã consorciado com caupi; PIG = Piatã consorciado com guandu; PIS = Piatã consorciado solteiro. Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem pelo teste de Scott-Knot a 5 % de significância.

Os tratamentos com Piatã consorciado com caupi e guandu, seguido da Ruziziensis com caupi se destacaram em todas variáveis analisadas da produtividade (Tabela 4). Na produção de grãos de soja o Piatã consorciado com caupi obteve a maior média nas duas safras, apresentando um acréscimo de 24% e de 8% em relação à média dos cultivos solteiros nas safras de 2017 e 2018, respectivamente. Já para a produção de matéria seca os tratamentos com Ruziziensis consorciado com caupi e Piatã consorciado com caupi e guandu, se destacaram, apresentando incrementos de 48%, 63% e 32%, respectivamente, em relação aos cultivos solteiros, e os demais tratamentos não apresentaram variações entre si (Tabela 4).

Para os teores de Proteína Bruta, além dos tratamentos citados anteriormente, o Paiaguás consorciado com o caupi, seguido do Paiaguás solteiro, do Tamani consorciado com caupi e guandu e o Piatã solteiro se destacaram, apresentando teores superiores a 14%, com ênfase para o Tamani com caupi que obteve maior média, apresentando acréscimo de 23% em relação ao cultivo solteiro.

Ao analisar a ANOSIM verifica-se a formação de três grandes grupos, onde o primeiro na parte superior do gráfico é composto pelos tratamentos que apresentaram os melhores resultados na análise univariada (Ruziziensis, Paiaguás, Tamani e Piatã, todos consorciados com caupi, juntamente com o Piatã consorciado com guandu), demonstrando alta similaridade

entre si (R estatísticos próximos a zero e P valores > 0,05, Anexo 1). O segundo grupo, na parte inferior, uniu os tratamentos consorciados com guandu (exceto o tratamento com Piatã), e o Ruziziensis e o Tamani solteiros. E o ultimo grupo, na parte direita do gráfico, ficou composto pelos tratamentos com Piatã e Paiaguás solteiros.

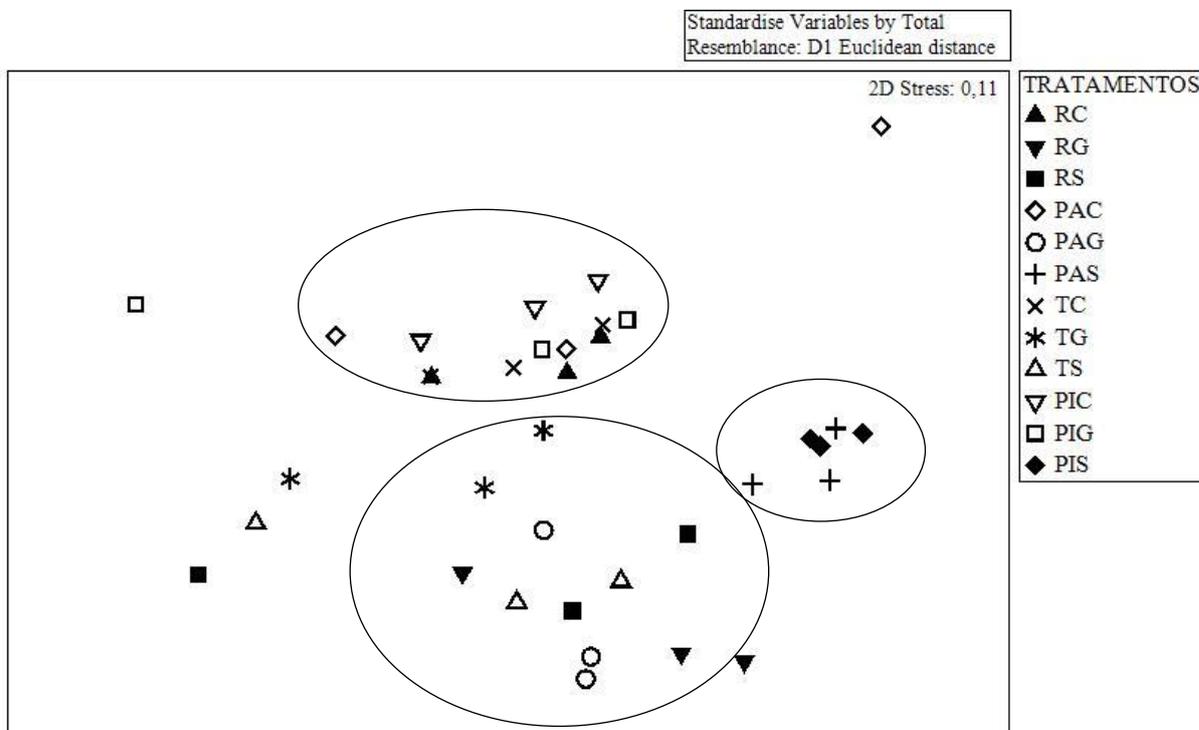


Figura 4. Comparação par a par pela Análise de Similaridade (ANOSIM) para as variáveis relacionadas a produtividade em Sistemas Integrados de Produção Agropecuária em Plantio Direto com consórcios com leguminosas na fase pastagem. RC = Ruziziensis consorciado com caupi; RG = Ruziziensis consorciado com guandu; RS = Ruziziensis cultivada solteira; PAC = Paiaguás consorciado com caupi; PAG= Paiaguás consorciado com guandu; PAS = Paiaguás cultivado solteiro; TC = Tamani consorciado com caupi; TG = Tamani consorciado com guandu; TS = Tamani cultivado solteiro; PIC = Piatã consorciado com caupi; PIG = Piatã consorciado com guandu; PIS = Piatã consorciado solteiro.

A produção animal, como mencionado anteriormente, não entrou na análise multivariada, já que não tinha um tratamento comparativo sem a presença animal. Assim se optou por realizar a análise de variáveis independentes, onde se analisou o efeito da massa seca e proteína bruta na produtividade animal. Observa-se que ambas variáveis apresentaram influência positiva e significativa na produção animal, tendo como destaque a massa seca ($Z=16,86$ $p < 0,05$) com percentual de 60,7%, seguida pela proteína bruta ($Z = 8,60$) com 39,3% (Figura 5).

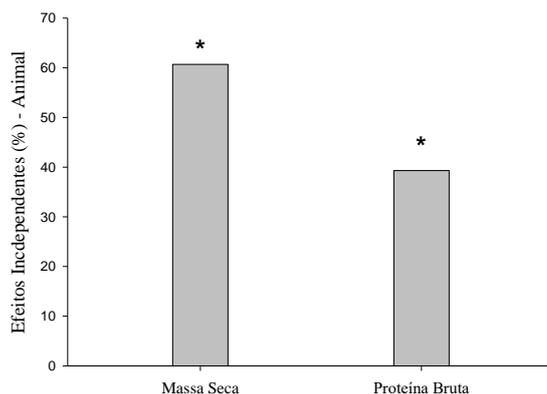


Figura 5. Efeitos independentes das variáveis de massa seca e proteína bruta da pastagem, relacionando a produtividade animal do sistema, ambas apresentaram relação significativa.

3.4 Indicadores de qualidade do solo influenciando a produtividade

Ao analisar a produtividade (soja, massa seca e proteína bruta) em relação as variáveis do solo (MOS e biomassa microbiana) pela a análise multivariada baseada na distância para modelos lineares (DistLM) percebe-se que, com exceção da respiração basal, todas as variáveis apresentaram P valor < 0,05 (Tabela 4), demonstrando uma relação significativa com a produtividade do sistema. Contudo, as variáveis que mais explicam as alterações na produtividade geral dos sistemas foram o C-BM (32,7%) e o N-MOP (30,3%), seguido pelo NT (27,5%), COP (26,3%), N-BM (26%) e qCO_2 (25,7%).

Tabela 5. Análise multivariada baseada na distância para modelos lineares (DistLM) para a produtividade em relação às variáveis de atividade microbiana e matéria orgânica do solo em Sistema Integrado de Produção Agropecuária sob Plantio Direto com consórcio na fase pastagem.

Variáveis	Pseudo-F	P	Proporção (%) *
COT	5,67	0,011	14,3
COP	12,12	0,001	26,3
NT	12,92	0,001	27,5
NMOP	14,79	0,001	30,3
C-BM	16,52	0,001	32,7
N-BM	11,98	0,001	26,0
qCO_2	11,71	0,001	25,7
RB	2,42	0,103	6,6
Qmic	7,65	0,002	18,4

*Proporção do quanto explica as alterações na produtividade do sistema. C-BM = Carbono da biomassa microbiana; N-BM = Nitrogênio da biomassa microbiana; RB = Respiração basal; qCO_2 = Quociente metabólico; $qmic$ = Quociente microbiano; COT = Teores de carbono orgânico total; NT = Teores de nitrogênio total; COP = Teores de carbono orgânico particulado; NMOP = Teores de nitrogênio da matéria orgânica particulada.

Em relação aos efeitos independentes das variáveis do solo (com exceção da RB, já que essa variável não apresentou significância estatística na análise DistLM) na produtividade do sistema, apenas o COT ($Z= 5,89$; $p < 0,05$) possui efeito significativo na produção de matéria seca da pastagem (Figura 5A). Já para a proteína bruta o COT ($Z = 14,61$) apresentou maior percentual de influência, seguido pelo NT ($Z = 3,89$) e N-BM ($Z = 4,56$), todos com efeitos significativos ($p<0,05$) (Figura 5B). Enquanto que para a soja o NMOP ($Z = 3,57$) se destacou com valores de 31% seguido do NT ($Z = 2,01$) com 21% (Figura 5C).

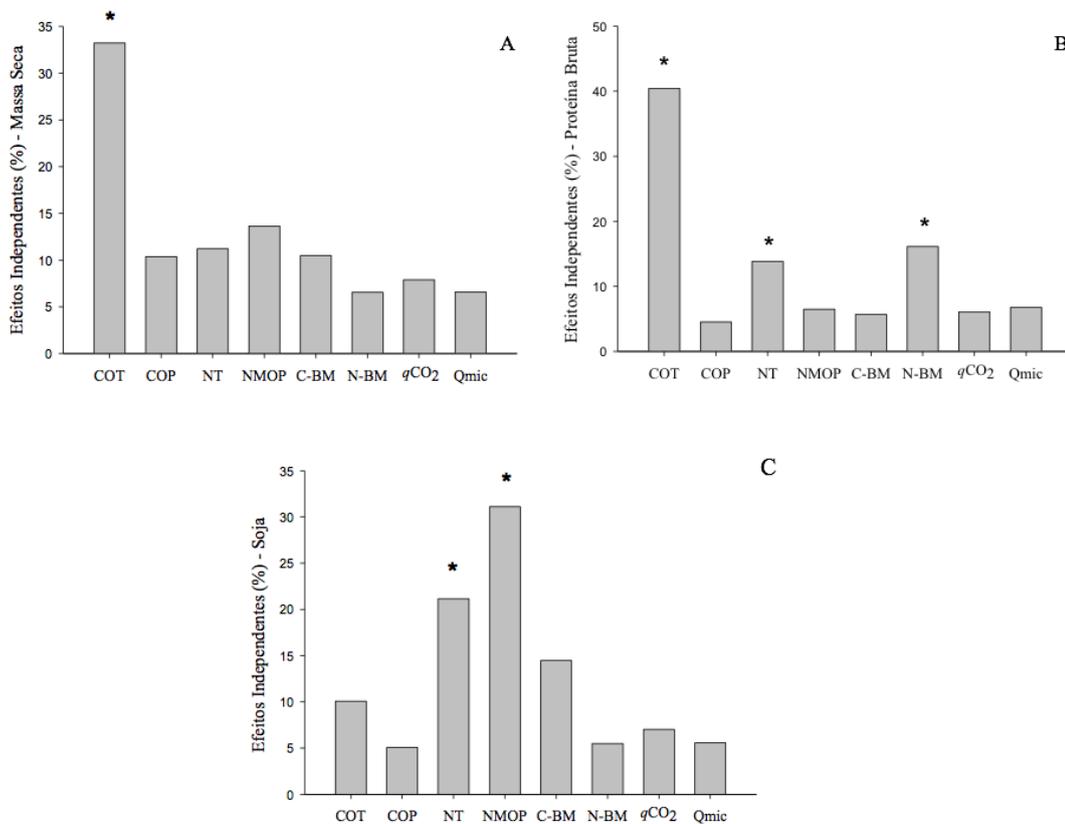


Figura 6. Efeitos independentes das variáveis do solo, relacionando a produtividade vegetal em Sistemas Integrados de Produção Agropecuária em Plantio Direto com consórcios na fase pastagem. **A** = Massa Seca, relação significativa para COT; **B** = Proteína bruta, relação positiva para COT, NT e N-BM; **C** = Soja, com relação significativa para NT seguido de NMOP. COT = Teores de carbono orgânico total; COP = Teores de carbono orgânico particulado; NT = Teores de nitrogênio total; NMOP = Teores de nitrogênio da matéria orgânica particulada; C-BM = Carbono da biomassa microbiana; N-BM = Nitrogênio da biomassa microbiana; qCO₂ = Quociente metabólico e Qmic = Quociente microbiano.

4. DISCUSSÃO

4.1 Matéria Orgânica do Solo

Os incrementos das variáveis da MOS nos consórcios (Tabela 2) deve-se, principalmente, ao aporte de resíduos culturais em maior quantidade e qualidade depositados em superfície nos tratamentos com consórcios, já que a cobertura do solo aliada ao pouco revolvimento do mesmo, aumentam o aporte de resíduos e sua persistência no solo, tanto pela parte área, quanto pelas raízes das culturas, tendo como consequência maior quantidade de C acumulado no solo.

A inclusão de leguminosas contribuiu também para o aumento dos teores de nitrogênio no solo (Tabela 2) devido a fixação biológica, pois nitrogênio garante melhor estabilidade estrutural para a MOS, já que o mesmo é essencial na estabilização do carbono por meio da síntese de substâncias mais humificadas (Ribeiro et al., 2011). Além disso, a fixação biológica de nitrogênio (FBN), pode favorecer o acoplamento biogeoquímico entre os ciclos de C e N e, assim proporcionar o acúmulo de MOS, enquanto que o uso sintético de fertilizantes nitrogenados, pode causar o efeito contrário, ou seja, desacoplar esses ciclos levando a menores estoques de C no solo. Deve-se se ressaltar ainda que, estudos realizados por Nyfeler et al. (2011) e Schipanski & Drinkwater (2012), indicam que o consórcio entre gramíneas com espécies de leguminosas em sistema de pastagens, contribui para a eficiência da FBN, proporcionando incremento de até 18% de N fixado quando comparado ao cultivo solteiro de leguminosas. Assim, confirma-se novamente o efeito dos consórcios entre leguminosas e gramíneas na fase pastagem do SIPA-PD, no incremento de C do solo e nos estoques de nutrientes, principalmente os nitrogenados.

Nas frações particuladas da MOS o resultado é semelhante, com incremento de COP e N-MOP em todos os consórcios quando comparados aos cultivos solteiros (Tabela 2). Isto indica que a deposição de resíduos de parte aérea e raízes nos consórcios entre gramíneas e leguminosas contribuiu para o aumento na matéria orgânica particulada, influenciando diretamente na disponibilidade de substrato para os microrganismos devido sua característica de maior labilidade.

Como mencionado, todos os consórcios contribuíram para o incremento da MOS, contudo as gramíneas Paiaguás e Piatã consorciadas com o feijão caupi foram os que se destacaram. Isso pode estar relacionado ao fato dessas duas gramíneas apresentarem rápido estabelecimento, além de sistema radicular mais profundo, que confere maior reciclagem de

nutrientes e maior aporte de matéria orgânica pelo sistema radicular (Santos et al., 2013; Euclides et al., 2016).

Os altos valores de IMC nos consórcios (Tabela 2), principalmente nos dois tratamentos mencionados acima, demonstram que esses sistemas proporcionaram melhorias na labilidade e na qualidade da MOS, em comparação aos tratamentos de referência, que nesse caso foram os cultivos solteiros. Esses resultados estão relacionados com a maior quantidade de resíduos vegetais depositados nesses tratamentos pois, de acordo com Gazolla et al. (2015), o IMC possui relação direta com o aporte de resíduos no solo. Resultados semelhantes foram encontrados por Vieira et al. (2007) que constataram IMC superiores em sistemas de culturas que evoluem leguminosas quando comparado a sistemas constituídos apenas por gramíneas.

4.2 Biomassa Microbiana do solo

A análise univariada aliada a formação de grupos distintos na Anosim (Tabela 3 e Figura 3), demonstra a influência das leguminosas também nos atributos microbianos do solo. Os maiores incrementos no C-BM estão associados à utilização das gramíneas Paiaguás e Piatã consorciadas com o feijão caupi. Isso ocorre em virtude, principalmente, dos maiores teores de COP apresentados por esses dois sistemas (Tabela 2), pois o COP é a fração lábil da MOS constituída por resíduos em decomposição inicial, ou seja, por materiais prontamente disponíveis à utilização pelos microrganismos (Cates & Ruark, 2017).

Além disso, nos sistemas em que há o consórcio com leguminosas existe maior diversidade de raízes e de resíduos, o que contribui para um melhor suprimento de energia para biomassa microbiana do solo, via liberação de exsudados, como aminoácidos e ácidos orgânicos, através das raízes (Chávez et al., 2011). Com isso, o efeito de resíduos de espécies consorciadas foi mais pronunciado sobre a biomassa microbiana do solo em comparação com resíduos de uma única espécie, fato também observado por Kooch et al. (2018). Esse incremento de C-BM refletiu no Qmic, onde os consórcios contribuíram para o acúmulo de C no solo, uma vez que essa variável representa a relação o a contribuição do C-BM para o COT. Esses resultados corroboram com os de Agostinho et al. (2017) que verificaram Qmic superior em áreas cultivadas com leguminosas em relação a áreas em pousio e ao campo nativo.

O N-BM também apresentou teores elevados nos tratamentos consorciados, isso se deve principalmente ao fato desses tratamentos ofertarem resíduos com alta disponibilidade de N devido a FBN. Essa maior disponibilidade de N contribui para que a biomassa

microbiana seja incrementada e utilizada, posteriormente, como fonte potencial de N e outros nutrientes para as plantas. Ademais, o incremento de N-BM contribui para a redução das perdas de N no sistema, e isto é de especial importância para esse nutriente, já que o mesmo é facilmente perdido quando da sua alta disponibilidade na solução.

Deve-se ressaltar ainda que o N inserido no sistema, via FBN, contribui para a redução de fertilizantes nitrogenados minerais no sistema, pois o N orgânico pode ser utilizado pelas pastagens e transferido para a cultura em sucessão, reduzindo os custos e os riscos associados a contaminação do meio ambiente com N reativo e lixiviação de nitratos. Breulmann et al. (2012), ao analisar a relação entre gramíneas e leguminosas, relataram que as leguminosas contribuíram diretamente sobre a disponibilidade de N no solo, e que este foi utilizado para a produção de biomassa por gramíneas.

Os valores altos de RB e qCO_2 nos cultivos solteiros demonstram que esses sistemas estão submetidos a alguma condição de estresse ou de distúrbio (Silva et al., 2010). Além disso, esses resultados indicam que quantidades importantes de C foram perdidas por meio da respiração de substratos incorporados na biomassa microbiana (Fterich et al. 2014), interferindo negativamente na manutenção e no estoque de C no solo. Os consórcios promoveram uma maior cobertura do solo, contribuindo para redução nas temperaturas e conservando a umidade por mais tempo na superfície, além disso promoveu incrementos no C orgânico e N total do solo, e de acordo com Yuan & Yue, (2012) esses fatores contribuem para reduções no qCO_2 .

Assim, o uso de leguminosas em consórcio com gramíneas em SIPA-PD podem colaborar para o equilíbrio desse sistema de produção, pois o mesmo apresentou incrementos no C-BM e N-BM, principalmente pela a diversidade e qualidade de resíduos depositados ao solo nos consórcios. Além disso, demonstrou eficiência no uso do C pelos microrganismos, já que manteve índices de Q_{mic} elevados aliados a baixos valores de qCO_2 , evidenciando que a biomassa microbiana não se encontra em estresse, sendo capaz de incorporar o C orgânico de em seu próprio metabolismo.

4.3 Produtividade

De modo geral, o consórcio com o feijão caupi afetou positivamente não só a produtividade vegetal do sistema, mas também as variáveis da MOS e biomassa microbiana (Tabela 4; Figura 4). Isso pode estar relacionado ao fato do consórcio com o feijão caupi

promoverem maiores incrementos nos teores de N, tanto da MOS como da biomassa microbiana em relação aos consórcios com feijão guandu (Tabela 2 e 3). Rusinamhodzi et al. (2006), verificaram maiores produtividades no milho quando cultivado em sucessão ao consórcio de feijão caupi e algodão, isso devido ao maior acúmulo de nitrogênio disponível ao solo. Vale ressaltar ainda que as maiores produtividades vegetais, principalmente a de grãos (soja), foi influenciada pelo incremento da MOS nos consórcios com caupi, já que a mesma contribui com a fertilidade do solo por meio da atividade dos microrganismos fornecendo nutrientes, como nitrogênio e fósforo, de forma contínua e constante (Menšík et al., 2018). Além de influenciar as demais características do solo, como densidade, porosidade, regulação de pH entre outros, por isso é considerada como compartimento central entre todos os componentes do solo (Bationo & Fening, 2018).

Além disso, vale ressaltar que o feijão guandu apresentou comportamento lenhoso em seu caule, o que pode ter resultado em elevação da sua relação C/N, dificultando a sua degradação e a rapidez da ciclagem desse nutriente. Esse comportamento também foi verificado por São Miguel et al. (2018), onde o guandu apresentou significativa recalcitrância sob a superfície do solo por possuir caules mais lignificados. De acordo com os autores, a conformação aromática das moléculas de lignina faz com que sejam de difícil degradação pela atividade enzimática dos microrganismos, o que faz elevar a relação C/N dos materiais vegetais.

Os maiores teores de N disponível nos sistemas com consórcio entre gramínea e leguminosa favoreceram maiores produtividades, inclusive da matéria seca e proteína bruta, já que, como mencionado anteriormente, o N orgânico fixado pela FBN pode ser utilizado pelas gramíneas e transferido para a cultura em sucessão. Isso promove, como consequência, o aumento de fitomassa e da qualidade da forragem, além de influenciar o incremento na produção de grãos de soja, uma vez que essa cultura é extremamente exigente nesse nutriente. Resultados semelhantes foram evidenciados por Cardoso et al. (2014) que observaram incrementos na produtividade de soja após o cultivo de leguminosas. Pesquisas indicam ainda que o N disponibilizado pelas leguminosas são absorvidos de forma mais eficiente do que o N via fertilizante mineral, ou ainda, que as leguminosas modificam o ambiente do solo, estimulando o crescimento da planta, ou ambos, de maneira que torna possível uma maior absorção de N pela cultura (Wutke et al., 2001; Cherr et al., 2006).

Contudo observa-se que para os tratamentos com Paiaguás consorciado com caupi e Piatã consorciado com caupi e guandu a proteína bruta não apresentou variação em relação aos cultivos solteiros (Tabela 4). Isso pode estar relacionado ao fato do sistema como todo

possuir alta fertilidade, fazendo com que as gramíneas apresentassem alta absorção de N. Pois um dos principais fatores que contribuem para o sucesso da produção forrageira, de acordo com Veloso (2012), é a fertilidade, desta forma, a aplicação de nutrientes em quantidade, proporções e períodos adequados, como foi realizado no experimento como todo, principalmente o N, ocasionou incremento na proteína bruta, mesmo nos cultivos solteiros.

Em relação a produção animal, além da produção de massa seca, a qualidade da forragem influencia diretamente na produtividade dos bovinos (Figura 5). Kwiatkowska-Malina (2017) ressalta que para potencializar a produção animal é necessária a oferta de forragem aliada ao alto valor nutritivo durante todo o período de pastejo. Estudos realizados por Pereira (2002), demonstraram que pastos consorciados com leguminosas promoveram um ganho de peso 31% superior em relação aos cultivos solteiros. Assim os consórcios promoveram incrementos na massa seca e na proteína bruta, devido a maior disponibilidade de N, aliada ao incremento de MOS, que proporciona maior aporte de nutrientes, e como consequência, afeta positivamente a produtividade animal.

4.4 Indicadores de qualidade do solo influenciando a produtividade

Dentre os nove indicadores avaliados pela análise DistLM, o C-BM e N-MOP se destacaram como os mais expressivos, enquanto que os demais tiveram contribuição semelhante para representar as alterações na produtividade vegetal (soja, massa seca e proteína bruta) (Tabela 5). Isso se deve principalmente ao fato dessas variáveis estarem relacionadas diretamente na função de fornecimento de nutrientes para as plantas, pois possuem alta taxa de decomposição e curto tempo de residência no solo (Vezzani & Mielniczuk, 2011). Assim, a fração particulada da MOS, atua no fornecimento de energia formando um reservatório de materiais prontamente disponíveis para o ataque microbiano e esses, por sua vez, fornecem nutrientes às plantas via mineralização, principalmente de N.

Na análise de partição hierárquica para massa seca, o COT demonstrou influência positiva na sua produção (Figura 6A), isso porque ele representa em torno de 58% da MOS. Assim, percebe-se que a produção de massa seca esta interligada com os benefícios gerados por essa MOS, já que ela é o ponto chave para aumentar a qualidade do solo, por estar conectada ao aumento da biomassa microbiana e, assim, fornecer nutrientes de forma gradual e contínua às plantas. Desta forma, todos esses efeitos fazem com que o nível de MOS esteja altamente correlacionado com o potencial de produção das pastagens, principalmente em

sistemas onde não se utiliza adubação nessa fase (Tomlinson et al., 2015). Assim, a MOS é um competente chave para sustentabilidade dos sistemas produtivos a longo e médio prazo.

Já para a proteína bruta, o COT também se destacou influenciando positivamente seu incremento (Figura 6B), devido aos benefícios aportados pela MOS mencionados anteriormente. Desse modo, o incremento na qualidade do solo, por meio da manutenção do COT, colabora para aumento da qualidade da pastagem. As variáveis NT e N-BM também colaboraram para as mudanças de proteína bruta. Isso ocorre porque, enquanto o NT promove a manutenção do N no solo, a biomassa microbiana atua na ciclagem de nutrientes por meio da decomposição, se tornando um reservatório de nutrientes disponíveis as plantas.

O NT e N-MOP favoreceram a produtividade da soja (Figura 6C), com isso parece que o N disponibilizado ao solo devido a presença de leguminosas contribuiu diretamente para a produtividade de grãos, principalmente em relação ao N-MOP pelo fato de ser uma fonte de nutrientes com liberação gradual via mineralização. Esses resultados corroboram com os encontrados por Cicek et al. (2014), que reportaram o aumento na produtividade do trigo, em SIPA-PD, utilizando consórcios de leguminosas forrageiras, atribuindo esse resultado ao N adicionado lentamente via resíduos das leguminosas. Esses resultados confirmam que a produtividade vegetal do sistema está embasada em vários atributos relacionados à qualidade do solo, principalmente a MOS e suas frações, e não somente na fertilidade química.

Assim o manejo da qualidade do solo pode ser considerado uma base sólida para otimizar e manter o potencial produtivo a longo prazo. E o SIPA-PD com consórcios na fase pastagem se mostrou um sistema eficiente no incremento e qualidade da MOS, principalmente através da qualidade dos resíduos depositados ao solo, o que proporcionou também uma biomassa microbiana eficiente, que contribuiu para a liberação de forma gradual e continua de nutrientes, incrementado a produção vegetal, principalmente a de grãos nas duas safras observadas.

5. CONCLUSÕES

1. Os consórcios com leguminosas na fase pastagem do SIPA-PD influenciam positivamente a matéria orgânica do solo, promovendo incrementos nos teores de C e N assim como nas suas frações particuladas e no índice de manejo de carbono.
2. O C-BM e N-BM foram incrementados nos tratamentos com adoção de consórcios de leguminosas assim como o Qmic, enquanto que os cultivos solteiros apresentaram estresse na microbiota do solo, com aumento da RB e qCO_2 .
3. A produtividade vegetal foi influenciada pelos consórcios com aumento na produção de grãos de soja, assim como na matéria seca. E o C-BM seguido do N-MOP são os atributos que melhor explicam as alterações na produtividade do sistema.
4. De modo geral as gramíneas Paiaguás e Piatã consorciadas com a leguminosa feijão-caupi proporcionam maiores incrementos nos atributos relacionado a qualidade do solo, refletindo também nas maiores produtividades do sistema.

6. REFERÊNCIAS

AGOSTINHO, P. R.; GOMES, S.S.; GALLO, A.S.; GUIMARÃES, N.F.; GOMES, M.S. & SILVA, R. F. Biomassa microbiana em solo adubado com vinhaça e cultivado com milho safrinha em sucessão a leguminosas. **Acta Iguazu**, 6: 31-43, 2017.

ALEF, K. & NANNIPIERI, P. **Methods in applied soil microbiology and biochemistry**. London: Academic Press, 1995.

ANDERSON, M. J. **PERMANOVA: a FORTRAN computer program for permutational multivariate analysis of variance**. Department of Statistics, University of Auckland, New Zealand, 2005.

ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient for CO₂ (*q*CO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soil. **Soil Biology and Biochemistry**, 25: 393-395, 1993.

BALBINOT JR., A.A.; MORAES, A.; VEIGA, M.; PELISSARI, A. & DIECKOW J. Desempenho de plantas invernais na produção de massa e cobertura do solo sob cultivos isolado e em consórcios. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, 3: 38-42, 2004.

BLAIR, G.J.; LEFROY, R.D.B & LISE, L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. **Australian Journal of Agricultural Research**, 46:1459-1466, 1995.

BREULMANN, M.; SCHULZ, E.; WEISSHUHN, K. & BUSCOT, F. Impact of the plant community composition on labile soil organic carbon, soil microbial activity and community structure in semi-natural grassland ecosystems of different productivity. **Plant and Soil**, 352: 253–265, 2012.

BROOKES, P.C.; LANDMAN, A.; PRUDEN, B. & JENKINSON, D.S. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: A rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. **Soil Bio**, 17: 837-842, 1985.

CAMBARDELLA, C.A. & ELLIOT, E.T. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, 56: 777-783, 1992.

CARNEIRO, M. A. C.; CARVALHO MELO, L. B.; ASSIS, P. C. R.; PEREIRA, H. S.; PAULINO, H. B.; SILVEIRA NETO, A. N. Atributos bioquímicos em dois solos de cerrado sob diferentes sistemas de manejo e uso. **Pesquisa Agropecuária Tropical, Goiânia**, 38: 276-283, 2008.

CARVALHO, P. C. F.; MORAES A.; PONTES L.S.; ANGHINONI I.; SULC M. & BATELLO C. Definições e terminologias para Sistema Integrado de Produção Agropecuária. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 5, p. 1040-1046, 2014.

CATES, A.M. & RUARK, M.D. Soil aggregate and particulate C and N under corn rotations: responses to management and correlations with yield. **Plant Soil**, 415: 521-533, 2017.

CHÁVEZ, L. F., ESCOBAR, L. F., ANGHINONI, I., DE FACCIO CARVALHO, P. C., MEURER, E. J. Diversidade metabólica e atividade microbiana no solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob intensidades de pastejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 46: 1254-1261, 2011.

CICEK, H.; MARTENS, J. R. T. M.; BAMFORD, K. C.; ENTZ, M. H. Forage potential of six leguminous green manures and effect of grazing on following grain Crops. **Renewable Agriculture and Food Systems**, 6: 503-514, 2014.

DIEKOW, J.; MIELNICZUK, J.; KNICKER, H.; BAYER, C.; DICK, D.P. & KÖGEL-KNABNER, I. Carbon and nitrogen stocks in physical fractions of a subtropical Acrisol as influenced by long-term no-till cropping systems and N fertilisation. **Plant and Soil**, 268: 319-328, 2005.

DORÉ T.; MAKOWSKI D.; MALÉZIEUX E.; MUNIER-JOLAIN N.; TCHAMITCHIAN M. & TITTONELL P. Facing up to the paradigm of ecological intensification in agronomy: Revisiting methods, concepts and knowledge. **Eur J Agron** 34:197-210. 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **ILPF em números**, 1: 17, 2017.

EUCLIDES, V. P. B.; MONTAGNER, D. B.; BARBOSA, R. A.; VALLE, C. B. & NANTES, N. N. Desempenho animal e características do pasto de duas cultivares de *Brachiaria brizantha* (BRS Paiaguás e BRS Piatã). **Revista Brasileira de Zootecnia**, 45: 85-92, 2016.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia - Universidade Federal de Lavras*, v. 35, p. 1039-1042, 2011.

FOLEY J. A.; RAMANKUTTY N.; BRAUMAN K. A; CASSIDY E. S.; GERBER J. S; JOHNSTON M.; MUELLER N. D.; O'CONNELL C.; RAY D. K.; WEST P.C.; BALZER C.; BENNETT E. M.; CARPENTER S. R.; HILL J.; MONFREDA C.; POLASKY S.; ROCKSTROM J.; JOHN; SHEEHAN J.; SIEBERT S.; TILMAN D. & ZAKS D. P. M. Solutions for a cultivated planet. **Nature** 478: 337-342, 2011.

FORNARA, D.A. & TILMAN, D. Plant functional composition influences rates of soil carbon and nitrogen accumulation. **Journal Ecol** 96:314–322, 2008.

FRANZLUEBBERS, A. J. & STUEDEMANN, J. A. Soil-profile organic carbon and total nitrogen during 12 years of pasture management in the Southern Piedmont USA. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, 129: 28-36, 2009.

FTERICH, A., MAHDHI, M., & MARS, M. The effects of *Acacia tortilis* subsp. *Raddiana*, soil texture and soil depth on soil microbial and biochemical characteristics in arid zones of tunisia, *Land Degradation and Development*, 25:143–152.

GAZOLLA, P. R., GUARESCHI, R. F., PERIN, A., PEREIRA, M. G. & ROSSI, C. Q. Fractions of soil organic matter under pasture, tillage system and crop-livestock integration. **Semina: Ciências Agrárias**, 36: 693-704, 2015.

GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A. Deposição de resíduos vegetais, matéria orgânica leve, estoques de carbono e nitrogênio e fósforo remanescente sob diferentes sistemas de manejo no cerrado goiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 36: 909- 920, 2012.

KOOCH, Y.; SANJI, R. & TABARI, M. Increasing tree diversity enhances microbial and enzyme activities in temperate Iranian forests. **Trees**, 1:1-14, 2018.

LEMAIRE G.; FRANZLUEBBERS A.; CARVALHO P. C. F & DEDIEU B.; Integrated crop–livestock systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, 190: 4-8, 2014.

Minasny B.;Malone BP, McBratney AB, Angers DA, Arrouays D, Chambers A, Chaplot V, Chen Z-S, Cheng K, Das BS, Field DJ, Gimona A, Hedley CB, Hong SY, Mandal B, Marchant BP, Martin M, McConkey BG, Mulder VL, O'Rourke S, Richer-de-Forges AC, Odeh I, Padarian J, Paustian K, Pan G, Poggio L, Savin I, Stolbovoy V, Stockmann U, Sulaeman Y, Tsui C-C, Vågen T-G, van Wesemael B, Winowiecki L . Soil carbon 4 per mille. **Geoderma** 292:59–86, 2017.

NYFELER, D.; ELIE-HUGUENIN, O.; SUTER, M.; FROSSARD, E. & LÜSCHER, A. Grass legume mixtures can yield more nitrogen than legume pure stands due to mutual stimulation of nitrogen uptake from symbiotic and non-symbiotic sources. *Agriculture Ecosystems & Environment*, **Amterdam**, 140: 155–163, 2011.

PACIULLO, D. S. C.; DERESZ, F.; LOPES, F. C. F.; AROEIRA, L. J. M.; MORENZ, M. J. F.; VERNEQUE, R. S. Disponibilidade de matéria seca, composição química e consumo de forragem em pastagem de capimelefante nas estações do ano. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, 60: 904-910, 2003.

RIBEIRO, PH; SANTOS, JVV; COSER, SM; NOGUEIRA NÃO; MARTINS, CAS Adubação verde, os estoques de carbono e nitrogênio e a qualidade da matéria orgânica do solo. **Revista Verde** , Mossoró, 6: 43-50, 201.

RYSCHAWY, J., MARTIN, G., MORAINÉ, M., DURU, M. & THEROND, O. Designing crop–livestock integration at different levels: Toward new agroecological models? **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, 108: 5-20, 2017.

SANT-ANNA S. A.C.; JANTÁLIA C. P.; SÁ J.M.; VILELA L.; MARCHÃO R. L.; ALVES B. J. R.; URQUIAGA S. & BODDEY R. M. Changes in soil organic carbon during 22 years of pastures, cropping or integrated crop/livestock systems in the Brazilian Cerrado. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, 108: 101-120, 2017.

SÃO MIGUEL, A.S.D.C.; PACHECO, L.P.; CARVALHO, I. C., SOUZA, E. D. & PETTER, F. A. Biomass production, accumulation and release of nutrients in soybean production systems under no-tillage system. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**. No Prelo.

SCHIPANSKI, M.E. & DRINKWATER, L.E. Nitrogen fixation in annual and perennial legume-grass mixtures across a fertility gradient. **Plant Soil** 357:1–13, 2012.

SILVA, D.J. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. Viçosa: UFV. Imprensa Universitária, 2:65p, 1990.

SILVA, R. R. D., SILVA, M. L. N., CARDOSO, E. L., MOREIRA, F. M. D. S., CURI, N., ALOVISI, A. M. T. Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica Campos das Vertentes-MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 34: 1584-1592, 2010.

SPARLING, G.P. & WEST, A.W. A direct extraction method to estimate soil microbial C: Calibration *in situ* using microbial respiration and ¹⁴C labeled cells. **Soil Biology and Biochemistry**, 20: 337-343, 1988.

TEDESCO, M.J.; VOLKWEISS, S.J. & BOHNEN, H. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Faculdade de Agronomia /Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995.

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

VELOSO, A. L. C. Pastagem irrigada de Panicum maximum Jacq cv tanzânia adubada com fósforo e nitrogênio sobre a produção, valor nutritivo e atributos do solo no norte de Minas Gerais. **Tese (Doutorado em Zootecnia) Curso de Pós-Graduação em Zootecnia da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais**. 2012.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Agregação e estoque de carbono em Argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35: 213-223, 2011.

VIEIRA, F.C.B.; BAYER, C.; ZANATTA, J.A.; DIECKOW, J.; MIELNICZUK, J.; HE, Z.L. Carbon management index based on physical fractionation of soil organic matter in an Acrisol under longterm no-till cropping systems. **Soil & Tillage Research**, 96: 195-204, 2007.

WRUCK, F. J; BEHLING, M. & ANTONIO, D. B. A. Sistemas integrados em Mato Grosso e Goiás. In: ALVES, F. V.; LAURA, V. A.; ALMEIDA, R. G. **Sistemas Agroflorestais: A agropecuária sustentável**. 1. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2015. cap. 9.

YUAN, B. C. & YUE, D. X. Soil microbial and enzymatic activities across a chronosequence of Chinese pine plantation development on the Loess Plateau of China. **Pedosphere**. 22: 1–12, 2012.

ZUBER S.M.; BEHNKE G. D.; NAFZIGER E. D.; VILLAMIL M. B. Multivariate assessment of soil quality indicators for crop rotation and tillage in Illinois. **Soil and Tillage Research**, 174: 147-155, 2017.

Anexo A - Comparação par a par pela análise de similaridade das variáveis relacionadas a matéria orgânica em SIPA-PD

Comparação par a par pela Análise de Similaridade (ANOSIM) para as variáveis relacionadas a matéria orgânica em SIPA-PD com consórcios de leguminosas na fase pastagem.

Tratamentos	R estatístico	Nível de Significância (%)
RC, RG	0,089	9,2
RC, RS	1,000	1
RC, PAC	1,000	1
RC, PAG	1,000	1
RC, PAS	1,000	1
RC, TC	0,889	1
RC, TG	1,000	1
RC, TS	1,000	1
RC, PIC	0,704	1
RC, PIG	0,996	1
RC, PIS	1,000	1
RG, RS	1,000	1
RG, PAC	1,000	1
RG, PAG	1,000	1
RG, PAS	1,000	1
RG, TC	1,000	1
RG, TG	1,000	1
RG, TS	1,000	1
RG, PIC	0,815	1
RG, PIG	0,704	1
RG, PIS	1,000	1
RS, PAC	1,000	1
RS, PAG	1,000	1
RS, PAS	0,000	10,0
RS, TC	1,000	1
RS, TG	1,000	1
RS, TS	0,037	8,0
RS, PIC	1,000	1
RS, PIG	1,000	1
RS, PIS	0,056	7,1
PAC, PAG	1,000	1
PAC, PAS	1,000	1
PAC, TC	1,000	1
PAC, TG	1,000	1
PAC, TS	1,000	1
PAC, PIC	0,256	6,0
PAC, PIG	1,000	1
PAC, PIS	1,000	1
PAG, PAS	1,000	1

PAG, TC	0,125	6,1
PAG, TG	0,245	8,2
PAG, TS	1,000	1
PAG, PIC	1,000	1
PAG, PIG	0,267	7,8
PAG, PIS	1,000	1
PAS, TC	1,000	1
PAS, TG	1,000	1
PAS, TS	0,037	8,0
PAS, PIC	1,000	1
PAS, PIG	1,000	1
PAS, PIS	0,056	7,1
TC, TG	0,296	6,0
TC, TS	1,000	1
TC, PIC	1,000	1
TC, PIG	0,274	8,2
TC, PIS	1,000	1
TG, TS	1,000	1
TG, PIC	0,819	1
TG, PIG	0,245	8,1
TG, PIS	1,000	1
TS, PIC	1,000	1
TS, PIG	1,000	1
TS, PIS	0,081	7,1
PIC, PIG	1,000	1
PIC, PIS	1,000	1
PIG, PIS	1,000	1

Anexo B- Comparação par a par pela análise de similaridade das variáveis relacionadas a biomassa microbiana em SIPA-PD

Comparação par a par pela Análise de Similaridade (ANOSIM) para as variáveis relacionadas a atividade microbiana em SIPA-PD

Tratamentos	R estatístico	Nível de Significância (%)
RC, RG	0,259	6,1
RC, RS	1,000	1
RC, PAC	1,000	1
RC, PAG	0,267	6,1
RC, PAS	1,00	1
RC, TC	0,281	6,1
RC, TG	0,274	6,1
RC, TS	1,000	1
RC, PIC	1,000	1
RC, PIG	0,222	6,1
RC, PIS	1,000	1
RG, RS	1,000	1
RG, PAC	1,000	1
RG, PAG	0,148	6,1
RG, PAS	1,00	1
RG, TC	0,259	6,1
RG, TG	0,074	7
RG, TS	0,841	1
RG, PIC	1,000	1
RG, PIG	0,185	6,1
RG, PIS	1,000	1
RS, PAC	1,000	1
RS, PAG	1,000	1
RS, PAS	0,089	8,2
RS, TC	1,000	1
RS, TG	1,000	1
RS, TS	0,226	7,5
RS, PIC	1,000	1
RS, PIG	1,000	1
RS, PIS	0,111	8,3
PAC, PAG	0,948	1
PAC, PAS	1,000	1
PAC, TC	1,000	1
PAC, TG	0,911	1
PAC, TS	1,000	1
PAC, PIC	0,085	9,0
PAC, PIG	0,985	1
PAC, PIS	1,000	1
PAG, PAS	1,000	1
PAG, TC	0,256	6,1

PAG, TG	0,245	6,1
PAG, TS	1,000	1
PAG, PIC	0,937	1
PAG, PIG	0,234	6,5
PAG, PIS	1,000	1
PAS, TC	1,000	1
PAS, TG	1,000	1
PAS, TS	0,098	8,7
PAS, PIC	1,000	1
PAS, PIG	1,000	1
PAS, PIS	0,134	7,9
TC, TG	0,231	6,5
TC, TS	1,000	1
TC, PIC	1,000	1
TC, PIG	0,231	6,5
TC, PIS	1,000	1
TG, TS	1,000	1
TG, PIC	0,952	1
TG, PIG	0,234	6,5
TG, PIS	1,000	1
TS, PIC	1,000	1
TS, PIG	1,000	1
TS, PIS	0,078	9,4
PIC, PIG	0,934	1
PIC, PIS	1,000	1
PIG, PIS	1,000	1

Anexo C- Comparação par a par pela análise de similaridade das variáveis relacionadas a produtividade em SIPA-PD.

Comparação par a par pela Análise de Similaridade (ANOSIM) para as variáveis relacionadas a produtividade em SIPA-PD com consórcios de leguminosas na fase pastagem.

Tratamentos	R estatístico	Nível de Significância (%)
RC, RG	1,000	1
RC, RS	1,000	1
RC, PAC	0,037	30
RC, PAG	1,000	1
RC, PAS	1,000	1
RC, TC	0,210	6,5
RC, TG	1,000	1
RC, TS	1,000	1
RC, PIC	0,230	6,5
RC, PIG	0,189	7,0
RC, PIS	1,000	1
RG, RS	0,210	6,5
RG, PAC	1,000	1
RG, PAG	0,090	8,7
RG, PAS	0,934	1
RG, TC	1,000	1
RG, TG	0,090	7,9
RG, TS	0,134	5,9
RG, PIC	1,000	1
RG, PIG	1,000	1
RG, PIS	0,990	1
RS, PAC	1,000	1
RS, PAG	0,078	7,4
RS, PAS	1,000	1
RS, TC	1,000	1
RS, TG	0,145	8,4
RS, TS	0,070	9,4
RS, PIC	1,000	1
RS, PIG	1,000	1
RS, PIS	1,000	1
PAC, PAG	1,000	1
PAC, PAS	1,000	1
PAC, TC	0,234	6,1
PAC, TG	1,000	1
PAC, TS	1,000	1
PAC, PIC	0,167	7,0
PAC, PIG	0,212	6,0
PAC, PIS	1,000	1

PAG, PAS	1,000	1
PAG, TC	1,000	1
PAG, TG	0,089	7,2
PAG, TS	0,102	6,4
PAG, PIC	1,000	1
PAG, FIG	1,000	1
PAG, PIS	1,000	1
PAS, TC	1,000	1
PAS, TG	1,000	1
PAS, TS	1,000	1
PAS, PIC	1,000	1
PAS, FIG	1,000	1
PAS, PIS	0,210	6,1
TC, TG	1,000	1
TC, TS	1,000	1
TC, PIC	0,134	7,0
TC, FIG	0,033	20
TC, PIS	1,000	1
TG, TS	0,030	9,4
TG, PIC	1,000	1
TG, FIG	1,000	1
TG, PIS	1,000	1
TS, PIC	1,000	1
TS, FIG	1,000	1
TS, PIS	1,000	1
PIC, FIG	0,033	30
PIC, PIS	1,000	1
FIG, PIS	1,000	1
