



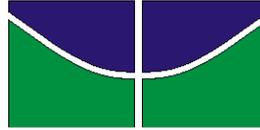
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**BIOMASSA VEGETAL E ATRIBUTOS DO SOLO EM
DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUÇÃO SOB PLANTIO
DIRETO NO CERRADO**

DAIANE DOS SANTOS SOARES

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM AGRONOMIA

Brasília, DF
2017



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**BIOMASSA VEGETAL E ATRIBUTOS DO SOLO EM
DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUÇÃO SOB PLANTIO
DIRETO NO CERRADO**

DAIANE DOS SANTOS SOARES

Orientadora: Professora Doutora Maria Lucrecia Gerosa Ramos

Co-orientadora: Doutora Giovana Alcântara Maciel

DISSETAÇÃO DE MESTRADO EM AGRONOMIA

Brasília, DF
2017

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**BIOMASSA VEGETAL E ATRIBUTOS DO SOLO EM
DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUÇÃO SOB PLANTIO
DIRETO NO CERRADO**

DAIANE DOS SANTOS SOARES

Dissertação de mestrado submetida à Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília - UnB, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Agronomia.

APROVADA POR:

**MARIA LUCRECIA GEROSA RAMOS, PhD/FAV-UnB/ (Orientadora) CPF 002094438
12, E-mail: lucreciaunb@gmail.com**

**LURDINEIDE DE ARAUJO BARBOSA BORGES, Professora Doutora,
Universidade de Brasília, membro interno – E-mail: lurd.borges@gmail.com**

**IÊDA DE CARVALHO MENDES, PhD. Embrapa – Cerrados. Membro externo –
E-mail: ieda.mendes@embrapa.br**

Brasília, DF
31 de Maio de 2017

FICHA CARTOGRÁFICA

SOARES, Daiane dos Santos

Biomassa vegetal e atributos do solo em diferentes sistemas de produção sob plantio direto no cerrado/ Orientação: Maria Lucrecia Gerosa Ramos; Co-orientação: Giovana Alcântara Maciel, Brasília, 2017. 97p.

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília / Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2017.

1. Biomassa vegetal e atributos do solo em diferentes sistemas de produção sob plantio direto no cerrado

I.Ramos, M. L. G. II. Ph.D.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SOARES, D.S. Biomassa vegetal e atributos do solo em diferentes sistemas de produção sob plantio direto no cerrado / Orientação: Maria Lucrecia Gerosa Ramos; Co-orientação: Giovana Alcântara Maciel, Brasília, 2017. 97p. (Dissertação de Mestrado em Agronomia).

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Daiane dos Santos Soares

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO: Biomassa vegetal e atributos do solo em diferentes sistemas de produção sob plantio direto no cerrado. GRAU: Mestre. ANO: 2017.

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Daiane dos Santos Soares

CPF: 037.966.305-88

E-mail: soares.agronomia@gmail.com

*“(...) Tá vendo aquele colégio moço?
Eu também trabalhei lá
Lá eu quase me arrebento
Fiz a massa, pus cimento
Ajudei a rebocar
Minha filha inocente
Vem prá mim toda contente
“ Pai vou me matricular “
Mas me diz um cidadão:
“ Criança de pé no chão
Aqui não pode estudar “
Essa dor doeu mais forte
Por que é que eu deixei o norte
Eu me pus a me dizer
Lá a seca castigava
Mas o pouco que eu plantava
Tinha direito a comer (...)”*

Cidadão/ Lúcio Barbosa

*Aos meus amados pais,
Adevaldo Alves Soares e
Ana Sueli dos Santos Soares
e à minha irmã
Jaqueline dos Santos Soares.*

Dedico

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por todas as graças concedidas até aqui e as que virão. A minha família por todo amor, carinho e paciência, e por acreditarem sempre que eu chegaria até aqui e que chegarei mais adiante.

A minha orientadora PhD Maria Lucrécia Gerosa Ramos, por todos os ensinamentos, pela paciência, pelas valiosas contribuições profissionais, pessoais e principalmente por ter acreditado em meu potencial para finalização do trabalho.

A minha co-orientadora Dr^a. Giovana Alcântara Maciel, pela orientação, amizade, conversas, pelo apoio prestado na Embrapa Cerrados e por ter tornado todo o percurso mais leve.

Ao Dr^o. Robélio Leandro Marchão, por todas as contribuições, incentivo, paciência e apoio em todas as etapas do trabalho na Embrapa Cerrados.

Aos pesquisadores da Embrapa Cerrados, pelo apoio e incentivo: Dr^a. Arminda de Carvalho, Dr^a. Alexandra Duarte, Dr^o. Juaci Malaquias, Dr^o. Walter Quadros, Dr^a. Cristiane Andrea e a Dr^a. Iêda Mendes.

Aos técnicos da Embrapa Cerrados: Delvico, Fernanda, Josias, Vilderete, Lucas, Chico, pelo essencial auxílio dentro dos laboratórios.

Ao corpo de professores da FAV da área de Solos, que muito me ensinaram e incentivaram. Em especial agradeço aqueles que de alguma forma contribuíram no desenvolvimento do trabalho: Dr^o. Cícero Figueiredo e Dr^a. Alessandra Monteiro.

Aos amigos: Cristiano Rodrigues, Divina Cléia, Jessiara Menezes, Naila Chaves, Helen Neves, Isis Lima e ao pequeno Isaac que ainda no ventre da mamãe alegrava meus dias, pela ajuda, cuidado, amizade, conselhos e pelos momentos de diversão.

Aos amigos da pós-graduação: Marcos Antônio, Alberto Silva, Stefany Braz, Lemerson Brasieliero pelo companheirismo e ajuda.

Aos amigos baianos que mesmo distante sempre se fizeram presentes: Marcelo Teixeira, Murilo Moraes, Cassia Caroline e Samara Paranhos.

Ao Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados por disponibilizar a estrutura necessária para realização desse trabalho.

A CAPES pela bolsa concedida e à Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária.

Muito obrigada!

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE TABELAS	11
APÊNDICES	14
ANEXOS	15
RESUMO	16
ABSTRACT	17
1. INTRODUÇÃO	18
2. OBJETIVOS E HIPÓTESES.....	19
2.1 Objetivo geral	19
2.2 Objetivos específicos	20
2.3 Hipóteses.....	20
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
3.1 A Agricultura no Cerrado	20
3.2 Sistema Plantio Direto e os benefícios do uso de plantas de cobertura.....	22
3.3 Sistema integração lavoura-pecuária	26
3.4 Produção de grãos.....	28
3.5 Atributos microbiológicos do solo.....	29
4. MATERIAL E MÉTODOS	32
4.1 Localização e caracterização da área experimental A	34
4.2 Localização e caracterização da área experimental B	37
4.3 Localização e caracterização da área experimental C	40
4.4 Avaliação da qualidade e quantidade de resíduos vegetais	44
4.5 Análises Microbiológicas	47
4.6 Coleta do solo	47
4.7 Respiração Basal	47
4.8 Carbono da Biomassa Microbiana e Carbono e Nitrogênio elementar	47
5. ANÁLISE ESTATÍSTICA	49
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	50
6.1 Área A.....	50

6.2	Quantidade e qualidade da palhada	50
6.3	Atributos Microbiológicos do Solo	53
6.4	Área B	59
6.5	Quantidade e qualidade da palhada	59
6.6	Atributos microbiológicos do solo	63
6.7	Área C	69
6.8	Quantidade e Qualidade da palhada	69
6.9	Atributos Microbiológicos do solo	72
7.	Análise de componentes principais.....	77
8.	CONCLUSÕES	80
9.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82
10.	APÊNDICES	94
11.	ANEXOS	95

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Croqui da área experimental A. (PDM/G) - Sucessão biennial gramínea/leguminosa e safrinha leguminosa/gramínea. (PDS/S) - Sucessão biennial leguminosa/gramínea e safrinha gramínea/leguminosa.....37
- Figura 2.** Esquema de implantação e condução da área experimental, desde o ano de 1996 até 2017, referente aos diferentes sistemas de manejo utilizados na pesquisa.37
- Figura 3.** Esquemática da distribuição dos tratamentos no campo experimental (google Earth®).....40
- Figura 4.** Esquema de implantação e condução da área experimental, desde o ano de 1999 até 2017, referente aos diferentes sistemas de manejo utilizados na pesquisa.40
- Figura 5.** Esquemática da distribuição dos tratamentos no campo experimental (google Earth®). 1-Lavoura contínua em Sistema de plantio direto com fertilização completa (PDM/MB); 2- Integração lavoura-pecuária com fertilização completa (PDS/ILP); 3-Cerrado nativo (CN).....43
- Figura 6.** Esquema de implantação e condução da área experimental C, desde o ano de implantação (1991) até o ano de coleta da pesquisa, referente ao sistema plantio direto soja/milho braquiária (SPS/MB) e sistema plantio direto soja/integração lavoura-pecuária.43
- Figura 7.** Análise de componentes principais para as variáveis de qualidade de resíduos vegetais dos diferentes sistemas de produção. M_G: Rotações bienais de gramíneas/leguminosas (milho/guandu) e segunda safra alternadas de leguminosa/gramínea (soja/sorgo); S_S: Rotações bienais de leguminosas/gramíneas (soja/sorgo) e segunda safra alternadas de gramíneas/leguminosa (milho/guandu); M_B: Sucessão anual milho/braquiária; M_M Sucessão anual milho/milheto; M_F: Sucessão anual milho/feijão-bravo-do-ceara; S_MB: Sucessão soja/milho+braquiária; S_ILP: Integração lavoura-pecuária....78
- Figura 8.** Análise de componentes principais para as variáveis dos atributos químicos e microbiológicos do solo dos diferentes sistemas de produção. M_G: Rotações bienais de gramíneas/leguminosas (milho/guandu) e segunda safra alternadas de leguminosa /gramínea (soja/sorgo); S_S: Rotações bienais de leguminosas/gramíneas (soja/sorgo) e segunda safra alternadas de

gramíneas/leguminosa (milho/guandu); M_B: Sucessão anual milho/braquiária;
M_M Sucessão anual milho/milho; M_F: Sucessão anual milho/feijão-bravo-do-
ceara; S_MB: Sucessão soja/milho+braquiária; S_ILP: Integração lavoura-pecuária...80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Descrição dos sistemas de produção estudados e resumo dos históricos de cultivo nas parcelas experimentais.	33
Tabela 2. Descrição dos tratamentos estudados e do período de duração da implantação do sistema plantio direto.	34
Tabela 3. Caracterização física (g kg^{-1}) das parcelas instaladas sob o Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico nas três áreas experimentais avaliadas na profundidade de 0-20 cm.	34
Tabela 4. Composição química das parcelas instaladas sob o Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico na área experimental A.	35
Tabela 5. Composição química das parcelas instaladas sob o Latossolo Vermelho na área experimental B.	38
Tabela 6. Composição química das parcelas instaladas sob o Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico na área experimental C.	41
Tabela 7. Espécies e épocas de corte das culturas principais (Época 1) e plantas de cobertura (Época 2) dos sistemas avaliados no ano de 2015 e 2016.	44
Tabela 8. Média e desvio-padrão da produção de massa seca (ton/ha) e dos teores de carbono (g kg^{-1}), nitrogênio (g kg^{-1}), razão C:N, hemicelulose (g kg^{-1}), celulose (g kg^{-1}), lignina (g kg^{-1}) e razão lignina:nitrogênio da parte aérea das culturas principais (milho soja) segundo os tratamentos avaliados.	50
Tabela 9. Média e desvio-padrão da produção de massa seca (ton/ha) e dos teores de carbono (g kg^{-1}), nitrogênio (g kg^{-1}), razão C:N, hemicelulose (g kg^{-1}), celulose (g kg^{-1}), lignina (g kg^{-1}) e razão lignina:N da parte aérea das culturas de safrinha segundo os tratamentos avaliados.	52
Tabela 10. Respiração basal ($\text{mg C kg}^{-1} \text{ solo dia}^{-1}$) do solo em dois sistemas de produção e no Cerrado nativo em três profundidades.	54
Tabela 11. Carbono da biomassa microbiana ($\text{mg C kg}^{-1} \text{ solo}$) do solo em dois sistemas de produção e no Cerrado nativo em três profundidades.	55
Tabela 12. Quociente microbiano do solo (%) em dois sistemas de produção e no Cerrado nativo em três profundidades.	56
Tabela 13. Carbono total ($\text{g C kg}^{-1} \text{ solo}$) do solo em dois sistemas de produção e no Cerrado nativo em três profundidades.	57

Tabela 14. Nitrogênio total (g N kg^{-1} solo dia^{-1}) do solo em dois sistemas de produção e no Cerrado nativo em três profundidades.	58
Tabela 15. Relação C:N do solo em dois sistemas de produção e no Cerrado nativo em três profundidades.....	58
Tabela 16. Média e desvio-padrão da produção de massa seca (ton/ha) e dos teores de carbono (g kg^{-1}), nitrogênio (g kg^{-1}), razão C:N, hemicelulose (g kg^{-1}), celulose (g kg^{-1}), lignina (g kg^{-1}) e razão lignina:N da parte aérea da cultura do milho.	60
Tabela 17. Média e desvio-padrão da produção de massa seca (ton/ha) e dos teores de carbono (g kg^{-1}), nitrogênio (g kg^{-1}), razão C:N, hemicelulose(g kg^{-1}), celulose (g kg^{-1}), lignina (g kg^{-1}) e razão lignina:nitrogênio da parte aérea das culturas de cobertura segundo os tratamentos avaliados.	61
Tabela 18. Respiração basal (mg C kg^{-1} solo dia^{-1}) do solo em três sistemas de produção e no Cerrado nativo em três profundidades.	63
Tabela 19. Carbono da biomassa microbiana (mg C kg^{-1} solo) do solo em três sistemas de produção e no Cerrado nativo em três profundidades.....	64
Tabela 20. Quociente microbiano do solo (%) em três sistemas de produção e no Cerrado nativo, em três profundidades.....	66
Tabela 21. Carbono total (g C kg^{-1} solo) do solo em três sistemas de produção e no Cerrado nativo em três profundidades.....	67
Tabela 22. Nitrogênio total (g N kg^{-1} solo) do solo em três sistemas de produção e no Cerrado nativo em três profundidades.....	67
Tabela 23. Relação C:N do solo em três sistemas de produção e no Cerrado nativo em três profundidades.....	68
Tabela 24. Média e Desvio-padrão da produção de massa seca (ton/ha) e dos teores de carbono (g kg^{-1}), nitrogênio (g kg^{-1}), razão C:N, hemicelulose (g kg^{-1}), celulose (g kg^{-1}), lignina (g kg^{-1}) e razão lignina:nitrogênio da parte aérea da cultura (soja) no final do ciclo.	69
Tabela 25. Média e desvio-padrão da produção de massa seca (ton/ha) e dos teores de Carbono (g kg^{-1}), nitrogênio (g kg^{-1}), razão C:N, hemicelulose (g kg^{-1}), celulose (g kg^{-1}), lignina (g kg^{-1}) e razão Lignina:Nitrogênio da parte aérea do milho safrinha e da braquiária.....	70
Tabela 26. Respiração basal (mg C kg^{-1} solo dia^{-1}) do solo em dois sistemas de produção e no Cerrado nativo em três profundidades.	72

Tabela 27. Carbono da biomassa microbiana (mg C kg ⁻¹ solo) do solo em dois sistemas de produção e no Cerrado nativo em três profundidades.....	73
Tabela 28. Carbono total (g C kg ⁻¹ solo) do solo em dois sistemas de produção e no Cerrado nativo em três profundidades.....	74
Tabela 29. Quociente microbiano (%) do solo em dois sistemas de produção e no Cerrado nativo em três profundidades.....	75
Tabela 30. Nitrogênio total (g N kg ⁻¹ solo) do solo em três sistemas de produção e no Cerrado nativo em três profundidades.....	76
Tabela 31. Relação C:N do solo em dois sistemas de produção e no Cerrado nativo em três profundidades.....	76

APÊNDICES

Apêndice 1. Concentração de macronutrientes na época 1.....94

Apêndice 2. Concentrações de macronutrientes na época 2.....94

ANEXOS

Anexo 1. Histórico de fertilização utilizada em 25 anos de experimento nos diferentes sistemas.....	95
Anexo 2. Histórico de culturas utilizadas em 25 anos de experimento nos diferentes sistemas.....	96

RESUMO

A implantação de sistemas conservacionistas como o plantio direto (PD) na região do Cerrado é uma alternativa para uma agricultura com sustentabilidade ambiental, e envolve diferentes técnicas de manejo. A indicação sistemática de plantas de cobertura, associada a um sistema de rotação e sucessão de culturas diversificadas para uso em sistema PD no Bioma Cerrado é uma estratégia para acúmulo de palhada. Sistemas mais complexos como a integração lavoura-pecuária podem ser uma alternativa para melhorar as propriedades do solo, estimular a atividade de microrganismos e aumentar os estoques de carbono orgânico do solo. Dessa forma, a implantação de diferentes manejos de sistemas de produção de grãos pode gerar distintas respostas em termo de sustentabilidade ambiental. O objetivo do presente trabalho foi avaliar sistemas agrícolas sob plantio direto com diferentes históricos, manejos, tempos de implantação, e sua influência na quantidade, qualidade de resíduos vegetais e em atributos químicos e microbiológicos do solo. Os experimentos avaliados estão localizados em três áreas dos campos experimentais da Embrapa Cerrados, Planaltina-DF e caracterizam-se por serem de longa duração, com 26, 21 e 12 anos de implantação. Foram realizadas análises de qualidade e quantidade de resíduos vegetais em diferentes épocas de manejo nas três áreas. Posteriormente foram coletadas amostras de solo na época do florescimento das culturas principais de cada tratamento e realizadas as seguintes análises: respiração basal, carbono total, nitrogênio total, carbono da biomassa microbiana (CBM), relação C:N e quociente microbiano. A utilização de gramínea na safra em sucessão a leguminosa na área A não se diferenciaram quanto ao carbono do solo. Na área B a sucessão milho/feijão-bravo-do-ceará manteve valores de CBM entre 230 e 307 mg C/kg solo até 30 cm de profundidade, valores de quociente microbiano acima de 1% e o CT também foi semelhante em todas as profundidades, esse sistema de produção promoveu maior qualidade da matéria orgânica do solo. Os resultados observados na área C indicam que a entrada de animais no plantio direto de soja e integração lavoura-pecuária promoveu maiores valores dos indicadores químicos e microbiológicos do solo, principalmente na camada de 0-10 cm. O efeito dos sistemas sob plantio direto com diferentes rotações, sucessões e inclusão da integração lavoura-pecuária respondeu de maneira diferenciada na melhoria da qualidade dos atributos químicos e microbiológicos do solo.

Palavras-chave: *Canavalia brasiliensis*; gramínea; resíduos vegetais.

ABSTRACT

The implementation of conservation systems such as no-tillage (PD) in the Cerrado region is an alternative to an environmentally sustainable agriculture, and involves different management techniques. The systematic indication of cover plants, associated with a system of rotation and succession of diverse crops for use in PD system in the Cerrado Biome, is a strategy for accumulation of straw. More complex systems such as crop-livestock integration can be a good alternative to improve soil properties, stimulate microbial activity and increase soil organic carbon stocks. Thus, the implementation of different management systems of grain production can generate different responses in terms of environmental sustainability. The objective of the present work is to evaluate different systems under no-tillage with different histories, management, time of implantation and their influence on the quantity, straw quality and soil microbiological attributes. The evaluated experiments are located in three areas of the experimental fields of Embrapa Cerrados, Planaltina-DF and are characterized by being of long duration, with 26, 21 and 12 years of implantation. Soil quality and quantity analyzes were carried out at different management times in the three areas. Soil samples were collected at the time of flowering of the main cultures of each treatment and the following microbiological analyzes were performed: basal respiration, total carbon, total nitrogen, carbon ratio of the microbial biomass, C: N ratio and microbial quotient. The use of grass in the crop in succession to the legume in the area A, did not differentiate in term of carbon. In area B, maize / bravo-do-ceará succession maintained MBC values between 230 and 307 mg C / kg soil up to 30 cm depth, qMIC values above 1% and CT was similar in all depths, this production system promoted a higher quality of soil organic matter. The results observed in area C indicate that the entrance of animals in the PDS/ILP promoted higher values of soil microbiological indicators mainly in the 0-10 cm layer. The effect of different systems under no-tillage with different rotations, successions and inclusion of crop-livestock integration responded in a differentiated manner in the improvement of soil quality.

Key-words: *Canavalia brasiliensis*; grassy; straw.

1. INTRODUÇÃO

O Cerrado perdeu aproximadamente 117.870 km² da vegetação nativa entre 1990 e 2010, com um total de 53,1% do bioma em 1990, sendo reduzido para 47,0% até 2010 (Beuchle et al., 2015). O Cerrado abrange 204,7 milhões de hectares da parte central do país e cobre parcialmente os seguintes estados: Bahia, Goiás, Maranhão, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraná, Piauí, São Paulo, e Tocantins (Sano et al., 2010). Cerca de 80 milhões de hectares do bioma Cerrado vêm sendo explorado com diferentes usos da terra, o que corresponde a 39,5 % da área total do bioma (Sano et al., 2008).

Atualmente a agricultura não busca somente altas produtividades e rentabilidade, mas também à preservação ambiental (Moda, et al., 2014) através da adoção de técnicas conservacionistas visando a proteção e melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, como é o caso do sistema plantio direto (SPD). Um bom manejo do solo como a rotação/sucessão de culturas, utilização de plantas de cobertura, integração lavoura-pecuária combinados ao SPD são técnicas que ao longo do tempo contribuem significativamente com a preservação do solo em sistemas de produção.

O revolvimento do solo através do manejo convencional, os períodos de intensa precipitação pluvial e a prolongada estação de seca no Cerrado potencializam o processo erosivo e, conseqüentemente, diminuem a produtividade das lavouras (Nunes et al., 2006). A produção de alimentos através de técnicas conservacionistas prezando a sustentabilidade é um dos grandes desafios da agricultura nos próximos anos e, para isso, o sistema plantio direto (SPD) tem se destacado (Amaral et al., 2016).

Nesse contexto, o sistema plantio direto, que mantém os resíduos culturais na superfície do solo, surge como uma alternativa para minimizar os impactos causados ao solo (Guareschi et al., 2012). Além disso, esse sistema constitui uma importante técnica para a manutenção e recuperação da capacidade produtiva do solo sob cultivo em regiões de clima tropical e subtropical, devido ao efeito que promove nos atributos físicos, químicos e biológicos dos solos (Falleiro et al., 2003; Almeida et al., 2005; Wendling et al., 2005; Lange et al., 2006; Azevedo et al., 2007; Aratani et al., 2009).

A utilização de cobertura vegetal, associada a um sistema de rotação e de sucessão de culturas diversificadas no sistema plantio direto, com diferentes composições químicas, é uma estratégia para o acúmulo de palhada na superfície do solo no bioma Cerrado (Wutke et al., 2014). O cultivo de diferentes espécies de plantas

de cobertura possibilita a melhoria e a conservação do solo e da matéria orgânica, além de promover aumentos consideráveis de rendimento nas culturas subsequentes e apresentar, viabilidade econômica. Além disto, várias espécies (dentre elas as de outono/inverno e primavera/verão) contribuem para a diminuição da infestação de pragas (Calegari, 2006).

Fatores bióticos e abióticos, como microrganismos do solo, temperatura do ar e do solo, precipitação pluvial, umidade do solo, quantidade e composição química das plantas de cobertura, influenciam o processo de decomposição e, conseqüentemente, a ciclagem de nutrientes e a produtividade das culturas subsequentes (Carvalho et al., 2008; Carvalho et al., 2009; Carvalho et al., 2011; Talbot e Treseder, 2012). A susceptibilidade dos resíduos vegetais à decomposição está associada à sua composição química, quanto aos teores de celulose, hemicelulose, lignina e polifenóis e às relações entre constituintes como C/N, C/P, lignina/N, polifenóis/N e lignina + polifenóis/N (Rheinheimer et al., 2000; Aita e Giacomini, 2003; Espindola et al., 2006).

O processo de decomposição da palhada ocorre através da atuação dos microrganismos heterotróficos, representados pela biomassa microbiana, cuja concentração varia entre 1% a 4% da matéria orgânica do solo (Carneiro et al., 2008). Segundo Lisboa et al. (2012) a biomassa microbiana do solo (BMS) é considerada um bom indicador de qualidade do solo, além de ser uma indicadora sensível das mudanças do solo, principalmente devido ao seu manejo. Ao se estudar as modificações da biomassa microbiana do solo, desencadeadas principalmente pelas atividades antrópicas, é possível definir práticas de manejo conservacionista visando diminuir os impactos causados sobre o solo.

2. OBJETIVOS E HIPÓTESES

2.1 Objetivo geral

- ✓ Avaliar diferentes sistemas agrícolas sob plantio direto com diferentes históricos, manejos e tempos de implantação, e sua influência na quantidade, qualidade de resíduos vegetais e nos atributos químicos e microbiológicos do solo.

2.2 Objetivos específicos

- ✓ Avaliar a qualidade e quantidade de resíduos vegetais das culturas utilizadas em diferentes sistemas agrícolas sob plantio direto.
- ✓ Avaliar os atributos químicos e microbiológicos do solo em diferentes sistemas agrícolas sob plantio direto.

2.3 Hipóteses

- ✓ A composição química dos resíduos vegetais de diferentes espécies sob plantio direto promove alterações nos atributos químicos e microbiológicos do solo em sistemas de produção ao longo do tempo.
- ✓ O tempo de implantação dos sistemas plantio direto bem como o manejo de diferentes espécies vegetais e integração ou não com animais influencia as propriedades microbiológicas e químicas do solo.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 A Agricultura no Cerrado

O Domínio Cerrado abrange cerca de 2 milhões de km² do Planalto Central do Brasil (24% do total da área do país) e é o segundo maior bioma fitogeográfico compartilhando transições com outros biomas brasileiros: Floresta Amazônica, Caatinga, Pantanal e Mata Atlântica (Bustamante et al., 2012). O Cerrado é visto como oportunidade de desenvolvimento e, mais recentemente, tem tido papel importante na retomada do crescimento econômico do Brasil, na proporção em que o agronegócio aumenta sua participação no mercado externo, via exportação de produtos como a carne bovina e a soja (De Oliveira, 2015).

A região do Cerrado possui características intrínsecas, como concentração de chuva no verão (1.200 a 1.800 mm) e cinco a seis meses de período seco no inverno, além de altas temperaturas entre 22°C e 27°C em média. A combinação desses fatores é um entrave para a produção de quantidades suficientes de resíduos vegetais para efetiva cobertura e proteção da superfície do solo (Machado e Silva, 2001; Fidelis et al., 2003; Bolliger et al., 2006).

No Cerrado, a dificuldade em manter a palhada na superfície do solo, em função dos longos períodos secos, é impasse para a implantação do sistema plantio direto (SPD) devido impossibilidade de uma cultura de entressafra ou de inverno. Algumas opções foram desenvolvidas com sucesso: milho em rotação; safrinha de milho; rotação com pastagem e cobertura verde permanente, podendo-se então, recomendar o manejo que melhor se adapte às condições da região (Silva et al., 2009).

O uso intensivo do solo na região do Cerrado para a produção agropecuária, aliado ao manejo inadequado, têm provocado aumento da sua degradação e consequentemente provoca um impacto negativo à qualidade do mesmo. Dessa maneira, há a necessidade da implantação de sistemas mais conservacionistas como é o caso do SPD que utiliza espécies vegetais para cobertura do solo, rotação/sucessão de culturas, e mais recentemente, a adoção da integração lavoura-pecuária (ILP) (Costa et al., 2015).

Estudos apontam que a derrubada e queima da vegetação nativa, seguida do cultivo do solo no processo de conversão do Cerrado em sistemas de cultivo, causam diminuição dos estoques de carbono do solo e aumento da emissão de gases de efeito estufa para a atmosfera (Franchini et al., 2007; Guareschi et al., 2012). A diminuição do conteúdo de matéria orgânica do solo (MOS) é prejudicial aos solos do Cerrado, uma vez que, segundo Orts et al. (2003) esse compartimento é responsável por 75 a 85 % da capacidade de troca catiônica (CTC) desses solos, ou seja, a MOS juntamente com a caulinita e os óxidos de ferro e alumínio constituem as superfícies de cargas negativas dos solos do Cerrado (Silva e Resck, 1997).

Diante de todos os desafios, a evolução dos sistemas produtivos nessa região deve-se a adoção de sistemas de manejo mais conservacionistas como é o caso do SPD. A manutenção de resíduos vegetais, acumulados por plantas de cobertura, pastagens e por restos culturais de lavouras comerciais, proporcionam um ambiente que contribui com o retorno de quantidades significativas de nutrientes, fornece matéria orgânica, protege o solo de agentes erosivos, mantém a umidade do solo e dessa forma contribui com a melhoria dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo (Flores et al., 2007; Santos et al., 2008; Chioderoli et al., 2012; Mendonça et al., 2013).

Em levantamento recente foram identificados no Cerrado 80 milhões de hectares sob diferentes usos da terra, o que corresponde a 39,5% da sua área total (Sano et al., 2008; Beuchle et al., 2015). O crescimento das atividades antrópicas nessa região tem afetado as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, tornando-se importante a adoção de práticas conservacionistas, como é o caso da implantação do sistema plantio

direto (SPD). Comprovando as vantagens do SPD, Cruz et al. (2006) mostraram que dez anos após a adoção desse novo sistema de cultivo houve aumento da vida biológica e também da matéria orgânica do solo.

3.2 Sistema Plantio Direto e os benefícios do uso de plantas de cobertura

O Sistema Plantio Direto (SPD) compreende uma série de processos tecnológicos de maneira combinada que são destinados à exploração de sistemas agrícolas produtivos, como o não revolvimento do solo, a manutenção permanente de resíduos vegetais sob a superfície do solo, diversificação de espécies com rotação/sucessão de plantas adaptadas as condições locais e minimização do intervalo de tempo entre colheita e semeadura (FEBRAPDP, 2017). O estudo de diferentes sistemas de plantio direto busca eleger as práticas que promovem um aumento na qualidade do solo, produtividade das culturas e diminuição do impacto ambiental (Santos et al., 2008).

O SPD é a principal técnica de manejo agrícola relacionada com a conservação do solo, sendo que sua introdução na agricultura foi um dos maiores avanços no processo produtivo brasileiro (Rosa et al., 2011). Entretanto a utilização dessa técnica enfrenta problemas para seu estabelecimento em algumas regiões como é o caso do Cerrado, por ser uma região com duas estações bem definidas de seca e chuva, e altas temperaturas, ocorre dificuldade para a manutenção de resíduos vegetais na superfície do solo que é um dos critérios do plantio direto.

Em busca da reversão dos processos de degradação do solo causados pela utilização de métodos convencionais, sistemas conservacionistas de manejo do solo, como o plantio direto, podem ser adotados e resultam em melhoria significativa da qualidade do solo (Vezzani e Mielniczuk, 2011). Esses benefícios são promovidos por diversos fatores, como: proteção física dos compostos orgânicos que diminui a velocidade da decomposição microbiana, favorecida pela oclusão do C em agregados do solo; e a proteção química dos compostos, por meio da interação destes com os minerais e cátions do solo, o que dificulta a oxidação microbiana (Siqueira-Neto et al., 2010).

Outro benefício do SPD é que com o não revolvimento do solo, ocorre diminuição da fragmentação dos resíduos vegetais, com conseqüente redução do contato solo/resíduo, promovendo menor decomposição do resíduo pela biota do solo (Souza et al., 2016). A utilização do plantio direto intercalando gramíneas com culturas

comerciais tem um grande potencial para melhorar a qualidade do solo através do sequestro de carbono, ciclagem de água e nutrientes e melhoria dos atributos microbiológicos do solo (Coser, et al., 2016; Lemaire et al., 2014).

A indicação sistemática de plantas de cobertura, associada a um sistema de rotação e de sucessão de culturas diversificadas para uso em sistema plantio direto no Bioma Cerrado, é uma estratégia para acúmulo de palhada na superfície do solo (Wutke et al., 2014). Porém, para que este sistema seja eficiente, é fundamental um adequado manejo do solo, com uso de práticas conservacionistas mecânicas, edáficas e vegetativas, entre as quais se destaca o uso de plantas de cobertura (Carvalho et al., 2015).

No SPD, a cobertura do solo deve ser priorizada, de modo que a sucessão de culturas proporcione alta produção de palhada com elevada relação C/N (Mingotte et al., 2014). A qualidade da composição química das espécies vegetais utilizadas também é um ponto importante, pois pode contribuir com a melhoria dos atributos microbiológicos do solo através do acúmulo de matéria orgânica ao longo do tempo. A presença de resíduos (palha), na superfície do solo, afeta diretamente a microbiota do solo, indicando que uso de plantas de coberturas, influencia positivamente a qualidade do solo (Mercante et al., 2008).

Os processos tecnológicos que compreendem o SPD são considerados práticas conservacionistas que proporcionam a melhoria das propriedades químico-físicas do solo e a conservação por períodos mais prolongados, da água e da matéria orgânica, proporcionando condições para o aumento da capacidade produtiva do solo (Alves, 1992). O SPD é beneficiado pela entrada de diferentes aportes orgânicos de carbono e nitrogênio a depender da composição química dos resíduos vegetais adicionados ao solo. A qualidade e quantidade dos aportes orgânicos que entram no sistema significam diferentes taxas de ciclagem de carbono e nitrogênio (Kong et al., 2010) que, mediadas pelos microrganismos, resultarão na formação de diferentes frações orgânicas no solo e posterior liberação de nutrientes no solo.

Segundo Carvalho et al. (2010), a manutenção de resíduos vegetais na superfície, a rotação de culturas e o mínimo revolvimento do solo, são os princípios básicos da implantação do SPD, além disso, há a redução da emissão de CO₂ para a atmosfera e aumento do estoque de carbono e nitrogênio no solo. O funcionamento da comunidade microbiana do solo é importante para a compreensão dos processos em nível de ecossistema (Chavés et al., 2011).

A utilização de resíduos vegetais como cobertura do solo é uma alternativa para aumentar a sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola, podendo restituir quantidades consideráveis de nutrientes aos cultivos, gerando uma economia com adubos químicos, pois estas plantas absorvem nutrientes das camadas subsuperficiais do solo e os liberam, posteriormente, na camada superficial pela decomposição dos resíduos (Duda et al., 2003). Desta maneira, a utilização de diferentes espécies vegetais como forrageiras consorciadas com culturas graníferas podem proporcionar cobertura com lenta decomposição (Pariz et al., 2011).

A quantidade e a qualidade dos resíduos vegetais sobre a superfície do solo dependem do sistema de sucessão/rotação de culturas implantado e em grande parte, do tipo de planta de cobertura e do manejo do solo (Gomes Júnior et al., 2008; Rosolem et al., 2010). Os resíduos vegetais com alta relação C:N são decompostos mais lentamente, com maior tempo de permanência no solo. No SPD é importante o cultivo de gramíneas, de alta relação C/N, para acelerar a formação da camada de palhada no solo. O milho (*Zea mays L.*) e espécies do gênero *Urochloa*, principalmente *U. ruziziensis* vêm se apresentando como boas alternativas, podendo ser exploradas em cultivos exclusivos ou consorciadas, promovendo novas alternativas de sistemas de produção, como a Integração Lavoura-Pecuária (ILP) (Kluthcouski et al., 2007).

Plantas de cobertura, principalmente as gramíneas, integradas de forma planejada no modelo de rotação de culturas, proporcionam incremento de fitomassa, de elevada relação C/N, garantindo a cobertura do solo por um período de tempo maior (Borghetti et al., 2006). Segundo Costa et al. (2014) a *Urochloa brizantha* cv. Xaraés e *Urochloa ruziziensis* são boas alternativas para a produção de resíduos vegetais por apresentarem elevada produtividade de palhada em antecessão à cultura do milho sob SPD. A *Urochloa ruziziensis* é mais utilizada nos sistemas de produção por ser de fácil manejo/controle e por competir menos com as culturas anuais no consórcio quando comparada as cultivares de *Urochloa brizantha*.

Segundo Veras et al. (2016), a utilização de *U. ruziziensis* tem potencial para armazenar N na camada de 0,00-0,10 m, especialmente quando comparada com o *Cajanus cajan*, uma planta leguminosa com a capacidade de fixar o N₂ atmosférico. O uso de plantas leguminosas, em geral como culturas de cobertura, em sistemas de plantio direto, pode aumentar o estoque do nitrogênio solo, pois as leguminosas fixam quantidades significativas deste elemento, no entanto os maiores teores de lignina e uma maior relação lignina/N resultam em baixa disponibilidade de N no solo.

As espécies vegetais utilizadas como plantas de cobertura, além de protegerem o solo dos agentes climáticos, assimilam C atmosférico e, desta forma, apresentam potencial para manter ou elevar o teor de matéria orgânica, mobilizar e reciclar nutrientes (Silva et al., 2011). Os resíduos culturais de diferentes espécies vegetais podem gerar quantidades de matéria seca (MS) suficientes para manter o solo coberto, aumentar o teor de matéria orgânica e diminuir a evapotranspiração (Giongo et al., 2011).

O uso de leguminosas destaca-se pela capacidade de assimilação do N atmosférico, por meio de associações com bactérias diazotróficas do grupo rizóbio. O processo de decomposição diferenciado entre leguminosas e gramíneas se dá em função da composição química das espécies vegetais, principalmente, em relação à concentração de nitrogênio, das condições climáticas e da atividade microbiana no solo (Carneiro et al., 2008). Na qualidade bromatológica das espécies vegetais a relação lignina/nitrogênio é o parâmetro que melhor explica o efeito de plantas de cobertura sobre a produtividade de grãos das culturas subsequentes (Carvalho et al., 2012).

Quanto à composição química das plantas, a adição de maiores teores de carbono pode ser atribuída à produção de resíduos vegetais com menor relação C/N e lignina/N, as quais possuem decomposição mais rápida do resíduo e favorecem o aumento dessa fração. Maiores teores de carbono foram observados em solos sob cultivo do nabo forrageiro devido à sua baixa relação C/N e baixa relação lignina/N, diferentemente da cultura do milho, que apresenta menores teores de carbono devido à sua relação C/N e lignina/N mais alta (Silva et al., 2016).

Outro fator de grande importância no processo de decomposição dos resíduos vegetais é a atuação dos microrganismos heterotróficos, representados pela biomassa microbiana (Carneiro et al., 2008). Os microrganismos aceleram a atividade no solo, quando há uma maior disponibilidade de resíduos vegetais em decomposição, possibilitando maior ciclagem de nutriente e maior equilíbrio nos processos de mineralização e imobilização em função da relação C/N e dos teores de lignina, celulose e hemicelulose (Cantarella, 2007; Carvalho et al., 2011; Carvalho et al., 2012).

Plantas de cobertura como a braquiária ruziziensis (*Urochloa ruziziensis*) e crotalária juncea (*Crotalaria juncea*), cultivadas sob sistema plantio direto em sucessão a cultura do milho, no final da estação chuvosa, exercem efeitos positivos com aumentos na produtividade de grãos, já o feijão-bravo-do-ceará (*Canavalia brasiliensis*)

por ser uma leguminosa, destaca-se quanto ao seu conteúdo de nitrogênio, promovendo também benefícios na sucessão com milho (Carvalho et al., 2015).

Dessa forma, considera-se que a condição desejável quando se busca sistemas mais conservacionistas, é aquela em que o solo tenha sempre cobertura vegetal, pois, contribui com sua proteção e aumento no aporte de matéria orgânica. Além disso, o uso de plantas condicionadoras em sistema plantio direto promove aumento nos fluxos de carbono, nitrogênio e de energia no sistema solo-planta-atmosfera (Silva et al., 2006).

3.3 Sistema integração lavoura-pecuária

Para atender tanto as necessidades de segurança alimentar no mundo quanto a sustentabilidade dos sistemas agrícolas, a produção de alimentos deve crescer substancialmente, enquanto, ao mesmo tempo, a pegada ambiental da agricultura e seus impactos negativos devem diminuir acentuadamente (Foley et al., 2011). A junção de aumentos constantes de produção/produktividade com preservação, manutenção e recuperação ambiental, que promovam uma intensificação conservacionista da produção, é o atual desafio do setor agrícola e pecuário (Smith, 2015).

A aceitação e adoção do sistema integração lavoura-pecuária pelos produtores rurais está aumentando, principalmente nos últimos cinco anos, o que evidencia uma estratégia para avanço da agricultura conservacionista no país. Nesse sistema são utilizadas culturas anuais para a produção de grãos (soja, milho), associadas a pastagens para produção animal e também para palhada em sistemas de produção sob plantio direto, o que oferece benefícios aos produtores, pois aumenta as suas fontes de renda (Bortolini et al., 2013).

A demanda crescente por alimentos e, por outro lado, a necessidade de redução de desmatamento e diminuição da degradação dos solos, requer soluções que sejam viáveis economicamente, sem comprometer os recursos naturais. A intensificação do uso da terra em áreas agrícolas e o aumento da eficiência dos sistemas de produção podem contribuir para isso. Neste contexto, a integração lavoura-pecuária é uma opção de utilização no sistema de produção (Balbino et al., 2011).

Em sistemas de produção onde é adotada a integração lavoura-pecuária, têm sido observados aumentos significativos em longo prazo na qualidade dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo (Santos et al., 2011; Mendonça et al., 2013). Essa melhoria na qualidade do solo é consequência do efeito das adubações nas culturas,

incremento dos dejetos dos animais, e ainda da intensificação da utilização da área agrícola com cultivos realizados durante todo o ano, em que a rotação de culturas permite a inclusão de espécies com diferentes sistemas radiculares, além de resíduos vegetais com diferentes relações C/N, o que contribui para alterações das taxas de decomposição e ciclagem de nutrientes (Costa et., 2015).

A evolução gradativa do SPD está ocorrendo, tendo em vista os benefícios quando comparados aos sistemas convencionais, em termos agronômicos, econômicos e ambientais. Entretanto, nas diversas condições climáticas e edáficas, a consolidação do plantio direto é fortemente dependente de culturas adequadas para a produção e manutenção de palhada sobre o solo, dentre algumas culturas promissoras estão; milho, milheto, sorgo granífero e sorgo forrageiro, gramíneas forrageiras tropicais (Leite et al., 2014). Nas regiões mais quentes e de solos menos férteis predomina o cultivo de braquiária nos sistemas de integração lavoura-pecuária (Machado e Valle, 2011; Franchini et al., 2014).

A implantação do sistema de integração lavoura pecuária é uma alternativa que pode suprir parcial ou totalmente o déficit de forragem durante a estação seca, com o cultivo de forrageiras anuais tais como aveia, milheto, sorgo forrageiro, ou de espécies perenes dos gêneros *Urochloa* e *Panicum*, semeadas em sucessão às culturas de verão (Machado e Assis, 2010).

Segundo Leite et al. (2014), os sistemas de integração lavoura-pecuária podem ser promissores para atender as dificuldades da pecuária tanto como alternativa de recuperação de pastagens degradadas quanto para as lavouras anuais e a consolidação do SPD, que proporcionam maior produção de palhada, melhoria da qualidade do solo pelo aumento de matéria orgânica no solo, além de aumentar a renda dos produtores com lucros tanto com a atividade de lavoura como da pecuária.

Segundo Wilkins (2008), os sistemas integrados de produção agrícola são mais conservacionistas em comparação aos sistemas especializados em produção de grãos e fibra, pois confere uma melhoria nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Na região do Cerrado, diversos sistemas de integração lavoura-pecuária são modulados de acordo com o perfil e os objetivos que o produtor tem para utilização de sua área. As diferenças nos sistemas podem ser atribuídas às especificidades regionais e da propriedade, como condições de clima e de solo, infraestrutura, experiência do produtor e tecnologia disponível para adoção dessa tecnologia (Vilela et al., 2011).

As mudanças no uso do solo podem alterar drasticamente a dinâmica do carbono orgânico total e do nitrogênio total, que são fatores chave na regulação das atividades de microrganismos do solo que controlam o ciclo de nutrientes e a decomposição de resíduos vegetais (Marchão, et al., 2009). A implantação do sistema lavoura pecuária (ILP) surge como alternativa conservacionista que visa tanto a produtividade de grão como de carne e leite, preconizando a sustentabilidade e preservação das qualidades físicas, químicas e biológicas do solo.

3.4 Produção de grãos

A produção de grãos no Brasil na safra 2016/17 está estimada em 232,02 milhões de toneladas, um crescimento de 24,3% em relação à safra 2015/16, o que equivale a 45,41 milhões de toneladas. A área plantada está estimada em 60,36 milhões de hectares, o crescimento previsto é de 3,5% se comparada com a safra 2015/16 (Companhia Nacional de Abastecimento, 2017). De acordo como o IBGE (2017), a área agrícola do Brasil é de aproximadamente 74,70 milhões de hectares (Mha), desconsiderando-se as áreas de pastagens, matas e/ou florestas, sistemas agroflorestais, exploração aquícola, construções e carreadores, terras degradadas e terras inaproveitáveis, que formam os 333,7 Mha dos estabelecimentos agrícolas.

Segundo estimativas da Companhia Nacional de Abastecimento (2017), a produção de grãos no Brasil para a safra 2016/17 poderá situar-se entre 222,90 e 227,93 milhões de toneladas, representando um crescimento de até 22,1% em relação à safra anterior o que equivalem à 39,12 milhões de toneladas. A área cultivada com soja e milho no Brasil é de aproximadamente 50,8 milhões hectares, das quais a maioria é cultivada em sistema plantio direto (Companhia Nacional de Abastecimento, 2017).

A cultura do milho absorve grandes quantidades de nitrogênio durante seu ciclo. Para a obtenção de maior produtividade, recomenda-se a adubação nitrogenada em cobertura para complementar a quantidade suprida pelo solo (Sangoi et al., 2015). Em sistemas de elevado nível tecnológico, onde se faz uso de irrigação, a recomendação de N pode atingir 250 kg ha⁻¹ para se obter elevada produtividade (Coelho, 2000). Nessas situações, o fertilizante nitrogenado pode representar de 15 a 20 % dos custos variáveis da lavoura (Debruin e Butzen, 2014).

O cultivo de milho em sucessão a leguminosas contribui com maiores quantidades de nitrogênio à cultura, além de melhorar o aproveitamento do N

proveniente do fertilizante nitrogenado pela planta e maior produtividade de grãos, seja por meio da fixação biológica ou pela ciclagem do N absorvido das camadas subsuperficiais com a incorporação de biomassa (Collieret et al., 2006; Silva et al., 2006; Albuquerque et al., 2013), o que resulta em economia de fertilizantes nitrogenados.

Todavia, as quantidades de nutrientes liberados pelas gramíneas podem ser iguais ou superiores às acrescentadas pelas leguminosas, dependendo da produção de fitomassa e das concentrações de nitrogênio, lignina, celulose e hemicelulose na parte aérea (Alvarenga et al., 2001; Kliemann et al., 2006; Torres et al., 2008; Teixeira et al., 2010; Carvalho et al., 2011; Carvalho et al., 2012; Doneda et al., 2012).

Dessa forma, a identificação de estratégias de manejo da lavoura que possam atender a demanda nitrogenada do milho, com baixo custo de produção e limitado impacto ambiental, torna-se cada vez mais importante para aumentar a margem bruta do produtor, preservar o ambiente e garantir segurança alimentar para a população mundial (Sangoi et al., 2015).

A soja (*Glycine Max*) é a principal oleaginosa cultivada no Brasil e no mundo, e representa fonte de matéria-prima de grande importância, especialmente para os setores do agronegócio e nutrição animal. A área plantada com esta oleaginosa no Brasil em 2013/14 foi de aproximadamente 30 milhões de hectares, com um aumento de 8,6% em relação à safra 2012/13. Em relação à produção de pouco mais de 86,2 milhões de toneladas de grãos foi obtido um aumento de 5,9% em comparação com 81,5 milhões de toneladas produzidas na safra 2012/13 (CONAB, 2014).

A semeadura da soja sobre braquiária dessecada vem-se destacando como forma interessante de adoção do sistema plantio direto, haja vista que a pastagem apresenta excelente cobertura, podendo contribuir para o aumento da matéria orgânica do solo e permitir a rotação de culturas (EMBRAPA, 2006).

3.5 Atributos microbiológicos do solo

Apesar do aumento no interesse em se entender melhor o funcionamento biológico do solo sob sistemas naturais e agrícolas, as pesquisas realizadas no monitoramento e impacto de diferentes sistemas de manejo e uso do solo na população e na atividade microbiana em solos de Cerrado são recentes (Fonseca et al., 2007; Carneiro et al., 2008), principalmente em sistema de integração lavoura-pecuária no bioma Cerrado.

Os indicadores biológicos do solo podem ser considerados os principais parâmetros para a percepção de alguns processos que ocorrem no solo em resposta às perturbações antropogênicas, podendo constituir-se importantes variáveis para prever a qualidade dos ecossistemas agrícolas (Pôrto et al., 2009).

O manejo adequado do solo é um fator de grande importância quando se busca a produção agrícola sustentável, desse modo torna-se fundamental a realização de pesquisas que envolvem a avaliação dos atributos microbiológicos do solo em diferentes sistemas de produção de grãos no bioma Cerrado. Assim, o acompanhamento da dinâmica da biomassa microbiana, pode evidenciar o efeito que o manejo do solo exerce nos microrganismos e, conseqüentemente, na ciclagem dos nutrientes no solo (Balota et al., 2003; Nogueira et al., 2006; Kaschuk et al., 2011).

O benefício do nitrogênio total sobre o carbono total e a atividade e diversidade microbiana tem sido relatados em pesquisas realizadas no Brasil (Balota et al., 1998, 2003, 2004; Franchini et al., 2007; Hungria et al., 2009), incluindo aumentos de até 100% na biomassa microbiana C (MB-C) em apenas cinco anos (Franchini et al., 2007; Babujia et al., 2010). O acréscimo de resíduos vegetais na superfície do solo como no caso de espécies leguminosas pode aumentar consideravelmente o nitrogênio total do solo e conseqüentemente elevar a atividade e biomassa microbiana.

A biomassa microbiana do solo (BMS) é o compartimento vivo da matéria orgânica do solo, responsável por processos bioquímicos, sendo sensivelmente impactada pelas condições impostas pelo meio (Balota et al., 1998). Dessa forma, a BMS é influenciada pelo clima, pela aeração, pela disponibilidade de nutrientes minerais e pelo C orgânico do solo.

A BMS é um dos componentes que controlam funções-chaves no solo, como a decomposição e o acúmulo de matéria orgânica, ou transformações envolvendo os nutrientes minerais (Araújo e Monteiro, 2007). Esse atributo microbiológico também representa o compartimento central do ciclo do C, N, P e S no solo e pode funcionar como compartimento de reserva desses nutrientes ou como catalisador na decomposição da matéria orgânica. Assim, além dos fatores do ambiente, a quantidade e a qualidade dos resíduos vegetais depositados sobre o solo podem alterar consideravelmente a atividade e a BMS (Souza et al., 2010). Em situações com maior deposição de resíduos orgânicos no solo e com grande quantidade de raízes, há estímulo da biomassa microbiana, acarretando seu aumento populacional e de sua atividade (Cattelan e Vidor, 1990).

As avaliações da qualidade do solo podem ser realizadas através de indicadores microbiológicos, tais como a atividade e a biomassa microbiana (Matias et al., 2009). De acordo Lourente et al. (2011), os sistemas de produção agrícola com menor perturbação do solo, como o SPD, contribuem para o aumento do teor de matéria orgânica do solo (MOS) e, conseqüentemente, da biomassa microbiana do solo (BMS). Os indicadores microbiológicos podem fornecer informações sobre a dinâmica da matéria orgânica do solo e, dessa forma, refletir sobre tendências de mudanças que estão ocorrendo em curtos e longos períodos (D'Andréa et al., 2004; Araújo et al., 2008).

A BMS pode ser influenciada pelo estágio de desenvolvimento das culturas implantadas, pela quantidade e qualidade dos resíduos vegetais e a inserção ou não de animais, pois esta é muito sensível a mudanças, mesmo que pequenas, no manejo do solo, por ser a fração viva da matéria orgânica (Conceição et al., 2005; Souza et al., 2008). Sistemas de produção agrícola com preparo do solo, utilização de grandes quantidades de fertilizantes, monocultivo, podem impactar de forma relevante a diversidade de comunidades microbianas do solo e da planta (Hole et al., 2005; Kiers et al., 2002).

As plantas de cobertura interferem na atividade, biomassa e composição da comunidade microbiana do solo, através do fornecimento de exsudatos radiculares e material vegetal durante o seu período de crescimento (Elfstrand et al., 2007; White e Weil 2010; Liu et al., 2014). Os microrganismos do solo têm efeitos benéficos sobre as culturas, às bactérias fixadoras de N₂ fornecem nitrogênio através de interações simbióticas e não simbióticas (Eo et al., 2015). A composição química das plantas assim como a relação carbono-nitrogênio (C/N) e lignina-nitrogênio (L/N) impactam a decomposição dos resíduos vegetais pelos microrganismos (Tejada et al., 2008).

4. MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos estão localizados em três áreas (A, B e C) no campo experimental da Embrapa Cerrados e caracterizam-se por serem de longa duração com diferentes históricos (Tabela 1). O clima da região corresponde ao tipo Aw (tropical chuvoso), segundo classificação de Köppen, com presença de invernos secos e verões chuvosos (Adámoli et al., 1986). O período chuvoso estende-se de outubro a abril, com precipitação média anual de 1400 a 1600 mm, sendo que 80% da ocorrência de chuvas estão distribuídas entre os meses de novembro a abril. A temperatura média é de 21°C, mantendo-se constante na maior parte do ano. Os solos das áreas experimentais são classificados como Latossolo Vermelho distrófico, textura argilosa (EMBRAPA, 2013). Os experimentos são de longa duração com diferentes idades de implantação, descrita na Tabela 1.

Tabela 1. Descrição dos sistemas de produção estudados e resumo dos históricos de cultivo nas parcelas experimentais.

Área Experimental	Sistema de manejo	Símbolo ⁽¹⁾	Descrição
A	Rotações bienais de gramíneas/leguminosas (milho/guandu) e segunda safra alternadas de leguminosa/gramínea (soja/sorgo)	PDM/G	O experimento foi implantado em 1996. A partir do quinto ano, utilizou-se o plantio direto, com alternância bienal de gramíneas e leguminosas. Em novembro de 2014 plantou-se o milho híbrido 30F53H. Após a colheita do milho, deixando os restos de palhada sobre o solo, plantou-se feijão guandu.
	Rotações bienais de leguminosas/gramíneas (soja/sorgo) e segunda safra alternadas de gramíneas/leguminosa (milho/guandu)	PDS/S	A soja BRAS 11022 superprecoce foi plantada em 01 de novembro de 2014, logo após a colheita da soja deixando os restos da palhada sob o solo, plantou-se o sorgo.
B	Sucessão anual milho/braquiária	PDM/B	O experimento de milho em sucessão às plantas de cobertura foi implantado em 2005. O milho foi semeado em Novembro de 2014 em sistema plantio direto, após a colheita do milho foi realizada (abril) a semeadura da <i>Brachiaria ruziziensis</i> diretamente sobre os restos culturais do milho.
	Sucessão anual milho/milheto	PDM/M	O milho foi semeado em Novembro de 2014 em sistema plantio direto, após a colheita do milho foi realizada (abril) a semeadura do feijão bravo do ceará diretamente sobre os restos culturais do milho.
	Sucessão anual milho/feijão-bravo-do-ceará	PDM/F	O milho foi semeado em Novembro de 2014 em sistema plantio direto, após a colheita do milho foi realizada (abril) a semeadura do milheto diretamente sobre os restos culturais do milho.
C	Sucessão soja/milho+braquiária	PDS/MB	Experimento de longo prazo iniciado em 1991. A soja precoce cv. M 7110 foi plantada em novembro de 2014. A colheita foi realizada em março de 2015 e o plantio do milho safrinha foi feito em seguida em cultivo consorciado com <i>Brachiaria brizantha</i> cv. BRS paiaguás. A <i>Brachiaria</i> será utilizada como planta de cobertura para o sistema de plantio direto na safra 2015/16.
	Integração lavoura-pecuária	PDS/ILP	A soja precoce foi planta em novembro de 2014 . A colheita foi realizada em março de 2015 e o plantio do milho safrinha foi feito em seguida em cultivo consorciado com <i>Brachiaria brizantha</i> cv. BRS paiaguás. A <i>Brachiaria</i> foi utilizada para pastejo na entre safra.
A/B/C	Cerrado nativo	CN	Três áreas de cerrado <i>strictu sensu</i> contígua à cada área experimental, utilizada como ambiente de referência.

¹PDM/G= plantio direto com safra de milho e safrinha com guandu; PDS/S = plantio direto com safra de soja e safrinha com sorgo; PDM/B = sucessão anual milho/braquiária; PDM/M = sucessão anual milho/milheto; PDM/F = sucessão anual milho/feijão-bravo-do-ceará; PDS/MB = sucessão soja/milho+braquiária; PDS/ILP = integração lavoura-pecuária.

Na Tabela 2 estão descritos os tratamentos das áreas A, B e C e o período de duração. As três áreas se diferenciam pelas culturas adotadas, entrada ou não de animais e o tempo de implantação do sistema plantio direto. A granulometria do solo realizada nas três áreas de estudo na profundidade de 0-20 cm está descrita na Tabela 3.

Tabela 2 Descrição dos tratamentos estudados e do período de duração da implantação do sistema plantio direto.

Área	Tratamentos	Descrição	Período de duração
A	PDM/G	Plantio direto de milho/Guandu	1996-2017
A	PDS/S	Plantio direto Soja/Sorgo	1996-2017
A	CN/A	Cerrado Nativo da área A	-
B	PDM/B	Plantio Direto de Milho/Braquiária	2005-2017
B	PDM/M	Plantio Direto de Milho/Milheto	2005-2017
B	PDM/F	Plantio Direto de Milho/Feijão-bravo-do-ceará	2005-2017
B	CN/B	Cerrado Nativo área B	-
C	PDS/MB	Plantio Direto Soja/Milho+Braquiária	1991-2017
C	PDS/ILP	Plantio direto Soja/integração-lavoura-pecuária	1991-2017
C	CN/C	Cerrado Nativo área C	-

PDM/G = plantio direto com safra de milho e safrinha com guandu; PDS/S = plantio direto com safra de soja e safrinha com sorgo; PDM/B = sucessão anual milho/braquiária; PDM/M = sucessão anual milho/milheto; PDM/F = sucessão anual milho/feijão-bravo-do-ceará; PDS/MB = sucessão soja/milho+braquiária; PDS/ILP = integração lavoura-pecuária.

Tabela 3 Caracterização física (g kg^{-1}) das parcelas instaladas sob o Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico nas três áreas experimentais avaliadas na profundidade de 0-20 cm.

¹ Área	Areia	Silte	Argila
A	437	95	468
B	330	80	590
C	309	79	610

¹Área A: PDM/G = plantio direto com safra de milho e safrinha com guandu; PDS/S = plantio direto com safra de soja e safrinha com sorgo; Área B: PDM/B = sucessão anual milho/braquiária; PDM/M = sucessão anual milho/milheto; PDM/F = sucessão anual milho/feijão-bravo-do-ceará; Área C: PDS/MB = sucessão soja/milho+braquiária; PDS/ILP = integração lavoura-pecuária.

4.1 Localização e caracterização da área experimental A

O estudo foi desenvolvido em um experimento de longa duração implantado em 1996 (vinte e um anos de condução) no campo experimental da Embrapa Cerrados,

localizado em Planaltina, DF (15°33'33,99" S e 47°44'12,32" W, altitude de 1.035 m). O solo da área de estudo é classificado como Latossolo Vermelho de textura argilosa (Embrapa, 2011).

A composição química do solo estudado (coleta realizada em janeiro de 2016) nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-30 cm encontram-se disponível na Tabela 4.

Tabela 4 Composição química das parcelas instaladas sob o Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico na área experimental A.

Atributos químicos ⁽¹⁾							
Tratamentos ⁽²⁾	pH	Al ³⁺	H+Al	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	P
0-10 (cm)							
CN	5,37(±0,1)	1,23(±0,1)	6,56(±0,5)	0,05(±0,0)	0,07(±0,0)	18,00(±3,6)	0,74(±0,1)
PDM/G	5,92(±0,2)	1,21(±0,2)	6,74(±0,3)	0,58(±0,2)	0,21(±0,0)	38,00(±21,0)	2,91 (±1,1)
PDS/S	5,61(±0,0)	1,22(±0,1)	6,99(±0,0)	0,57(±0,2)	0,27(±0,1)	36,00(±5,5)	3,23(±0,5)
10-20 (cm)							
CN	5,37(±0,1)	1,40(±0,1)	7,12(±0,9)	0,06(±0,0)	0,09(±0,0)	29,67(±5,8)	0,99 (±0,2)
PDM/G	6,09(±0,2)	0,98(±0,3)	7,26(±0,4)	0,88 (±0,27)	0,40(±0,0)	32,67(±14,0)	6,61(±3,0)
PDS/S	5,73(±0,0)	0,80(±0,4)	6,61(±0,2)	1,60(±0,7)	0,59(±0,3)	47,00(±9,6)	11,22 (±4,0)
20-30 (cm)							
CN	5,33(±0,16)	1,98(±0,1)	10,02(±0,7)	0,12(±0,0)	0,18(±0,0)	55,00(±7,2)	1,55(±0,2)
PDM/G	6,26(±0,29)	0,03(±0,0)	4,15(±0,6)	3,90(±0,5)	1,86(±0,1)	85,33(±34,7)	18,38(±9,8)
PDS/S	5,68(±0,06)	0,07(±0,0)	4,28(±0,4)	3,74(±0,5)	1,61(±0,3)	77,00(±1,0)	15,59(±7,0)

¹pH em H₂O; Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺, H+Al em cmol_c dm⁻³; K⁺e P em mg dm⁻³. ²PDM/G = plantio direto com safra de milho e safrinha com guandu; PDS/S = plantio direto com safra de soja e safrinha com sorgo; CN = cerrado nativo.

Na implantação do experimento, foram instaladas 48 parcelas experimentais, de 22 m de comprimento e 18 m de largura cada, distribuídas em delineamento de blocos ao acaso, com três repetições, cujo campo experimental está delimitado pela mata nativa de Cerrado, utilizada como ambiente de referência.

Foram selecionados dois tratamentos de um experimento constituído por dezesseis tratamentos. O primeiro tratamento foi o plantio direto milho/guandu (*Zea mays/Cajanus cajan*) (PDM/G), o milho híbrido 30F53H foi plantado em 01 de novembro de 2014, o espaçamento utilizado foi de 75 cm por metro com 6 a 7 sementes por metro linear. A adubação de plantio dos tratamentos de milho foi de 350 kg/ha da formulação 4-30-16. No dia do plantio foi aplicado o herbicida Primestra Gold 4 L/ha. Como tratamento fitossanitário foi realizada aplicação de inseticida, 300 ml/ha de Macht e 1 L/ha de Lanate. Foram realizadas duas adubações de cobertura com 155

kg/ha de ureia. O milho foi colhido em março de 2015 e em seguida, logo após a colheita do milho, os restos dos resíduos vegetais foram mantidos sobre o solo e plantou-se o feijão guandu, sem adubação, utilizando-se apenas a fertilidade residual da cultura do milho. A colheita do feijão guandu foi realizada em junho de 2015 deixando-se também os restos da cultura sob o solo.

No plantio direto soja/sorgo (*Glycine Max/ Sorghum bicolor*) (PDS/S), a soja BRAS 11022 superprecoce foi plantada em 01 de novembro de 2014, o espaçamento utilizado foi de 50 cm entre linhas e 18,4 plantas por metro. A adubação de plantio, comum a todos os tratamentos contendo soja, foi de 400 kg ha⁻¹ da formulação 0-20-20. Foi realizada inoculação das sementes com inoculante turfoso contendo *Bradyrhizobium japonicum* (estirpes CPAC 7 e CPAC 15). No dia do plantio, foi aplicado o herbicida Dual Gold na dosagem de 2 L/ha. Como tratamento fitossanitário foi realizado a aplicação de fungicida composto de azoxistrobina e ciproconazol na dosagem de 0,3 L/ha. A colheita foi realizada em 25 de fevereiro de 2015 e em seguida, logo após a colheita da soja, os restos dos resíduos vegetais foram mantidos sobre o solo, e plantou-se o sorgo, sem adubação, utilizando-se apenas a fertilidade residual da cultura da soja. O sorgo foi colhido em junho de 2015 deixando-se também os restos da cultura como cobertura do solo.

Os dois sistemas plantio direto diferenciam-se pela rotação e sucessão de culturas inicialmente instaladas desde o seu estabelecimento em 1996.

PDM/G – Rotações bienais de gramínea/leguminosa e segunda safra alternadas de leguminosa/gramínea.

PDS/S – Rotações bienais de leguminosa/gramínea e segunda safra alternadas de gramínea/leguminosa.

A esquematização de distribuição dos tratamentos no campo experimental está esboçada na Figura 1 e 2.



Figura 1. Croqui da área experimental A. (PDM/G) - Sucessão bienal gramínea/leguminosa e safrinha leguminosa/gramínea. (PDS/S) - Sucessão bienal leguminosa/gramínea e safrinha gramínea/leguminosa.



Figura 2. Esquema de implantação e condução da área experimental, desde o ano de 1996 até 2017, referente aos diferentes sistemas de manejo utilizados na pesquisa.

4.2 Localização e caracterização da área experimental B

A segunda área do estudo é um experimento de longa duração implantado em 2005 (doze anos de condução), está localizada no campo experimental da Embrapa Cerrados, localizado em Planaltina DF situada a 15°35'30" latitude S e 47°42'30" longitude. O solo da área de estudo é classificado como Latossolo Vermelho. A composição química do solo (coleta realizada em janeiro de 2016) nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-30 cm encontram-se disponível na Tabela 5.

Tabela 5 Composição química das parcelas instaladas sob o Latossolo Vermelho na área experimental B.

Tratamentos ⁽²⁾	Atributos químicos ⁽¹⁾						
	pH	Al ³⁺	H+Al	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	P
0-10 (cm)							
PDM/B	5,65(±0,1)	0,19(±0,0)	4,80(±0,3)	2,05(±0,2)	0,33(±0,0)	81,00(±16,5)	3,78(±1,6)
PDM/M	5,60(±0,0)	0,15(±0,0)	4,61(±0,3)	2,18(±0,7)	0,45(±0,0)	46,00(±11,3)	3,80(±1,2)
PDM/F	5,42(±0,0)	0,13(±0,0)	4,30(±0,2)	2,08(±0,6)	0,32(±0,0)	41,33(±1,1)	3,39(±1,3)
CN	5,15(±0,02)	2,35(±0,3)	9,68(±0,1)	0,03(±0,0)	0,09(±0,1)	38,33(±3,2)	1,13(±0,0)
10-20 (cm)							
PDM/B	5,58(±0,0)	0,16(±0,0)	5,23(±0,4)	2,42(±0,4)	0,37(±0,0)	98,93(±18,5)	13,68(±10,6)
PDM/M	5,59(±0,0)	0,11(±0,0)	4,94(±0,1)	2,42(±0,2)	0,48(±0,0)	54,00(±14,0)	7,70(±2,7)
PDM/F	5,35(0,0)	0,19(±0,0)	4,59(±0,1)	2,20(±0,4)	0,40(±0,0)	54,67(±22,7)	6,22(±3,4)
CN	5,23(±0,2)	2,19(±0,3)	9,23(±0,2)	0,04(±0,0)	0,10(±0,0)	43,67(±11,7)	1,31(±0,3)
20-30 (cm)							
PDM/B	5,46(±0,0)	0,31(±1,0)	5,83(±0,7)	2,08(±0,4)	0,54(±0,1)	140,00(±3,4)	39,83(±33,0)
PDM/M	5,49(±0,0)	0,19(±0,0)	5,34(±0,3)	2,36(±0,5)	0,67(±0,1)	99,33(±11,7)	10,90(±2,7)
PDM/F	5,22(0,0)	1,15(±0,0)	4,59(±0,0)	2,56(±0,3)	0,54(±0,1)	64,00(±11,3)	7,81(±6,0)
CN	5,18(±0,2)	2,96(±0,2)	11,84(±0,5)	0,12(0,0)	0,27(±0,0)	88,33(±15,3)	2,49(±1,0)

¹pH em H₂O; Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺, H+Al em cmol_c dm⁻³; K⁺ e P em mg dm⁻³. ²PDM/B = sucessão anual milho/braquiária; PDM/M = sucessão anual milho/milheto; PDM/F = sucessão anual milho/feijão bravo do ceará; CN = cerrado nativo.

Antes da instalação do experimento a área foi mantida com rotação soja/milho entre os anos de 1999 e 2004. O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, e três repetições. As parcelas foram representadas pelas espécies de cobertura (12 x 4 m). O campo experimental está delimitado pela mata nativa de Cerrado, utilizada como ambiente de referência.

Foram selecionados três tratamentos de um experimento constituído por dez tratamentos. Em abril de 2015 as seguintes espécies vegetais foram semeadas na área para cobertura do solo: Braquiária ruziziensis (*Urochloa ruziziensis*), Feijão-bravo-do-ceará (*Canavalia brasiliensis* M. e Benth) e Milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Brown). O milho (*Zea mays*) foi semeado em novembro de 2014 em sistema plantio direto, após o corte das plantas de cobertura na floração e dessecação das mesmas com

propósito de permitir o semeio do milho. Na semeadura da cultura foi realizada adubação de manutenção no sulco de plantio, utilizando 500 kg ha⁻¹ da formulação NPK 4–30–16 acrescida de 2 kg ha⁻¹ de Zn (ZnSO₄.7H₂O) e 10 kg ha⁻¹ de FTE BR 12 como fonte de micronutrientes com a seguinte composição química: Enxofre (S): 3,2%; Boro (B): 1,8%; Cobre (Cu): 0,8%; Manganês (Mn): 2,0%; Molibdênio (Mo): 0,1%; Zinco (Zn): 9,0%; Cálcio (Ca): 1,8%. Foram realizadas três fertilizações com, 20 kg ha⁻¹ no plantio e duas de 65 kg ha⁻¹ de N em cobertura, tendo como fonte a ureia, aplicada quando as plantas emitiram o quarto e oitavo par de folhas, respectivamente, totalizando 150 kg ha⁻¹ de N de acordo com as recomendações de Sousa e Lobato (2004).

A semeadura das plantas de cobertura foi realizada diretamente sobre os restos culturais do milho cultivado no ano agrícola anterior (safra 2014/2015), utilizando-se da fertilidade residual dessa cultura. A densidade de plantas foi de 20 plantas por metro linear para braquiária; 40 plantas por metro linear para milho; 10 plantas por metro linear para feijão-bravo-do-ceará. O espaçamento entre linhas de semeadura foi de 0,5 m para todas as espécies vegetais (Carvalho e Amabile, 2006).

Dessa forma, a partir de 2005, até o presente momento, o cultivo do milho tem sido realizado em sucessão às plantas de cobertura, sendo a adubação e os tratamentos culturais realizados conforme demanda da cultura. Desta área experimental três tratamentos foram selecionados para o presente estudo (PDM/B – Sucessão anual milho / braquiária; PDM/M–Sucessão anual milho/ milho; PDM/F – Sucessão anual milho/ feijão-bravo-do-ceará).

A esquematização de distribuição dos tratamentos no campo experimental está esboçada na Figura 3. Na figura 4 está a sucessão de culturas adotadas desde a implantação do experimento.



Figura 3. Esquemática da distribuição dos tratamentos no campo experimental (google Earth®).

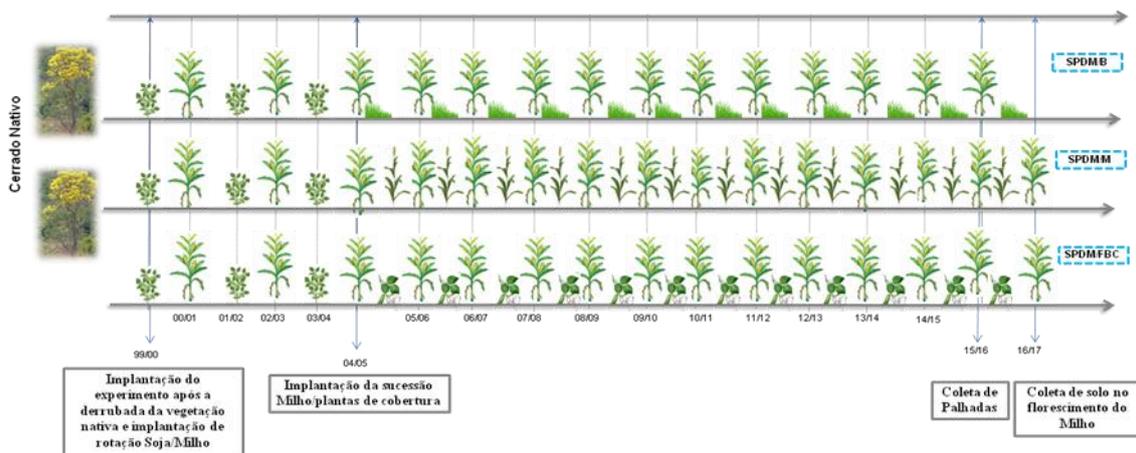


Figura 4. Esquema de implantação e condução da área experimental, desde o ano de 1999 até 2017, referente aos diferentes sistemas de manejo utilizados na pesquisa.

4.3 Localização e caracterização da área experimental C

A terceira área do estudo constitui-se de um experimento de longo prazo iniciado em 1991 (26 anos de condução) e está localizada no campo experimental da Embrapa Cerrados, localizado em Planaltina-DF situada a 15°35' Sul e 47°42'30'' W e 1200 m acima do nível do mar.

O solo da área de estudo é classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico A. A composição química do solo (coleta realizada em janeiro de 2016) nas profundidades 0-10, 10-20 e 20-30 cm encontram-se disponível na Tabela 6.

Tabela 6 Composição química das parcelas instaladas sob o Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico na área experimental C.

Atributos químicos ⁽¹⁾							
Tratamentos ⁽²⁾	pH	Al ³⁺	H+Al	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	P
0-10 (cm)							
PDS/ILP	5,54(±0,1)	0,02(±0,0)	3,13(±0,5)	5,37(±0,5)	2,73(±0,4)	169,75(±32,3)	27,62(±23,8)
PDS/MB	5,51(±0,2)	0,02(±0,0)	3,02(±0,7)	5,49(±0,4)	1,73(±0,4)	139,00(±13,2)	7,82(±4,8)
CN	5,04(±0,2)	0,88(±0,1)	4,97(±0,8)	0,17(±0,0)	0,14(±0,0)	47,75(±4,1)	0,83(±0,1)
10-20 (cm)							
PDS/ILP	5,62(±0,1)	0,20(±0,1)	5,63(±0,4)	1,56(±0,3)	0,83(±0,6)	78,75(±5,1)	8,88(±3,3)
PDS/MB	5,67(±0,2)	0,15(±0,1)	4,70(±1,3)	2,29(±1,0)	0,45(±0,1)	55,55(±11,0)	3,33(±1,5)
CN	5,14(±0,2)	0,53(±0,1)	7,17(±0,3)	0,08(±0,0)	0,07(±0,0)	29,25(±3,9)	0,62(±0,1)
20-30 (cm)							
PDS/ILP	5,33(±0,0)	0,40(±0,0)	5,89(±0,2)	0,75(±0,1)	0,35(±0,4)	46,75(±11,3)	2,77(±0,4)
PDS/MB	5,61(±0,3)	0,21(±0,1)	4,97(±0,5)	1,14(±0,7)	0,25(±0,0)	38,00(±9,8)	1,07(±0,2)
CN	5,22(±0,1)	0,34(±0,0)	5,69(±0,1)	0,08(±0,0)	0,07(±0,0)	22,00(±5,6)	0,41(±0,1)

¹pH em H₂O; Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺, H+Al em cmol_c dm⁻³; K⁺e P em mg dm⁻³. ²PDS/MB = sucessão soja/milho+braquiária; PDS/ILP = integração lavoura-pecuária; CN = Cerrado nativo.

O experimento foi delineado em blocos ao acaso, com duas repetições em parcelas subdivididas. As parcelas são os sistemas de produção e as subparcelas os níveis de fertilidade. A área de cada parcela é de 0,8 ha, sendo que elas são divididas em dois níveis de fertilidade: F1 fertilidade 50% da recomendada para a cultura e F2

fertilidade 100% recomendada para a cultura. Neste estudo foram avaliadas apenas algumas das subparcelas com fertilidade 100% recomendada para a cultura. Levando em consideração o maior tamanho das parcelas dessa área experimental em relação às outras, a coleta tanto da palhada como de solo foi realizada com maior número de amostras para posteriores análises. Nesse estudo dois tratamentos foram estudados, sistema de lavoura contínua sob plantio direto e sistema de integração lavoura-pecuária também sob sistema plantio direto. Uma área sob vegetação natural de Cerrado, contígua à área experimental foi utilizada como ambiente de referência.

A soja foi semeada em novembro de 2015 em sistema plantio direto, após a colheita do milho e pastejo dos animais no sistema integração lavoura-pecuária. No sistema integrado, na fase pastagem, os piquetes foram pastejados por bovinos da raça Nelore (*Bos indicus*), onde a carga animal foi ajustada, introduzindo-se ou retirando-se os animais, de forma a manter a oferta de forragem entre aproximadamente 8-10 kg por 100 kg de peso vivo. Na fase de agricultura, dependendo da cultura utilizada na safra ou na safrinha (p.ex. milho ou sorgo) pode ocorrer um pastejo de entressafra por um curto período.

Na semeadura da cultura foi realizada adubação de manutenção no sulco de plantio (Histórico da adubação da área anexo A). No mês de março, após a colheita da soja, semeou-se o milho para a safrinha e a pastagem para a cobertura do solo e pastejo.

Os sistemas de uso e manejo do solo que foram avaliados foram: PDS/MB – Plantio direto de soja/milho+braquiária; PDS/ILP – Plantio direto de soja e integração lavoura-pecuária.

A esquematização de distribuição dos tratamentos bem como a sucessão de culturas adotada no sistema está esboçada na Figura 5 e 6.



Figura 5. Esquemática da distribuição dos tratamentos no campo experimental (google Earth®). 1- Lavoura contínua em Sistema de plantio direto com fertilização completa (PDM/MB); 2- Integração lavoura-pecuária com fertilização completa (PDS/ILP); 3-Cerrado nativo (CN).

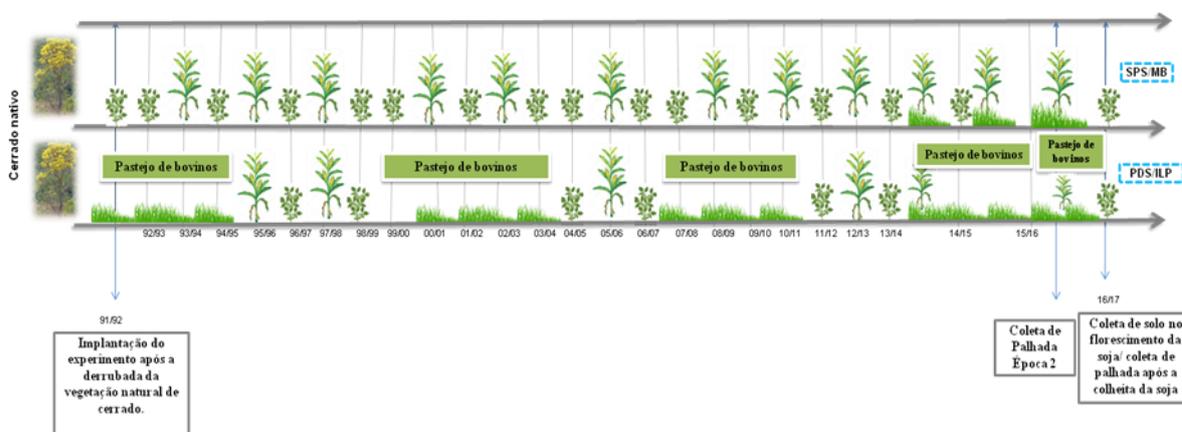


Figura 6. Esquema de implantação e condução da área experimental C, desde o ano de implantação (1991) até o ano de coleta da pesquisa, referente ao sistema plantio direto soja/milho braquiária (SPS/MB) e sistema plantio direto soja/integração lavoura-pecuária.

Os tratamentos estudados são caracterizados pela adoção de tecnologia visando o conservacionismo, para cada modelo de manejo adotado, com níveis de adubação conforme recomendação para o desenvolvimento das culturas, e todos sob plantio direto. A diferença básica entre os sistemas são o uso ou não de gramíneas ou leguminosas, rotação/sucessão de diferentes espécies vegetais, datas de plantio, colheita e manutenção das espécies diferenciadas e o pastejo ou não de animais.

4.4 Avaliação da qualidade e quantidade de resíduos vegetais

As coletas das amostras foram realizadas em diferentes épocas (Tabela 7) em cada área experimental, coletando-se a palhada das culturas de cobertura, culturas para pastejo e culturas principais, de acordo com o período de manejo e condução de cada sistema de produção. As coletas dos resíduos vegetais foram realizadas antes da coleta de solo.

Tabela 7 Espécies e épocas de corte das culturas principais (Época 1) e plantas de cobertura (Época 2) dos sistemas avaliados no ano de 2015 e 2016.

Tratamentos ⁽¹⁾	Espécie	Data de corte
	Época 1	
PDM/G	Milho (<i>Zea mays</i>)	25/02/15
PDS/S	Soja (<i>Glicine Max L.</i>)	25/02/15
PDM/B	Milho (<i>Zea mays</i>)	27/04/15
PDM/M	Milho (<i>Zea mays</i>)	27/04/15
PDM/F	Milho (<i>Zea mays</i>)	27/04/15
PDS/MB	Soja (<i>Glicine Max L.</i>)	10/04/16
PDS/ILP	Soja (<i>Glicine Max L.</i>)	10/04/16
Época 2		
PDM/G	Guandu 'BRS mandarim' (<i>Cajanus cajan</i>)	21/09/15
PDS/S	Sorgo (<i>Sorghum bicolor</i>)	21/09/15
PDM/B	Braquiária ruziziensis (<i>Urochloa ruziziensis</i>)	21/09/15
PDM/M	Milheto 'BR05' (<i>Pennisetum glaucum</i>)	21/09/15
PDM/F	Feijão-bravo-do-ceará (<i>Canavalia brasiliensis</i>)	21/09/15
PDS/MB	Milho (<i>Z. mays</i>) + Braquiária ruziziensis (<i>U. ruziziensis</i>)	03/09/15
PDS/ILP	Milho (<i>Z. mays</i>) + Braquiária ruziziensis (<i>U. ruziziensis</i>)	03/09/15

¹PDM/G = plantio direto com safra de milho e safrinha com guandu; PDS/S = plantio direto com safra de soja e safrinha com sorgo; PDM/B = sucessão anual milho/braquiária; PDM/M = sucessão anual milho/milheto; PDM/F = sucessão anual milho/feijão-bravo-do-ceará; PDS/MB = sucessão soja/milho+braquiária; PDS/ILP = integração lavoura-pecuária.

Coleta de resíduos vegetais na área A: As coletas dos resíduos das culturas principais foram realizadas após a colheita do milho (PDM/G) e soja (PDS/S) em março de 2015; as coletas de resíduos das culturas de safrinha foram realizadas após o corte do guandu (PDM/G) e sorgo (PDS/S) em junho de 2015.

Coleta de resíduos vegetais na área B: As coletas de resíduos das culturas principais foram realizadas após a colheita do milho nos três sistemas avaliados (PDM/B, PDM/M e PDM/F) em abril de 2015; as coletas de resíduos das culturas de

cobertura foram realizadas após o corte da braquiária (PDM/B), milho (PDS/S) e feijão-bravo-do-ceará em setembro de 2015.

Coleta de resíduos vegetais na área C: A coleta de resíduos da cultura principal foi realizada após a colheita da soja (PDS/MB e PDS/ILP) em março de 2016; as coletas de resíduos das culturas de safrinha e pastejo foram realizadas após a colheita do milho e antes da entrada dos animais (PDS/MB e PDS/ILP), em outubro de 2015.

As amostras de resíduos vegetais foram coletadas por meio de retângulos de (0,38m x 0,58m), que foram arremessados aleatoriamente nas parcelas experimentais. Os resíduos vegetais foram secos em estufa de ventilação forçada a 65°C, até alcançarem o peso constante. Após esse período, as amostras foram retiradas da estufa e pesadas para obtenção do peso do material pré-seco (massa seca ton/ha). As amostras pré-secas foram moídas e acondicionadas em recipientes plásticos fechados. Para a determinação da matéria seca total pesaram-se 2 gramas de amostra seca em estufa a 65° C, em cadinhos de porcelana previamente secos e pesados previamente. Posteriormente, levaram-se os cadinhos contendo as amostras à estufa a 105° C, durante doze horas. A seguir, os cadinhos foram retirados da estufa e colocados em um dessecador por uma hora aproximadamente, até que a temperatura deles se igualasse com a temperatura ambiente, e a seguir foram pesados novamente utilizando-se uma balança analítica de aproximadamente quatro casas decimais.

Nos tecidos vegetais, realizaram-se determinações químicas de carbono total, nitrogênio total, FDA (Fibra em Detergente Ácido), FDN (Fibra em Detergente Neutro), lignina, celulose, hemicelulose, macro e micronutrientes. Os teores de fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), e lignina foram mensurados pelo método sequencial de Van Soest (1991).

Analisou-se a FDN por meio da pesagem de 0,5 g da amostra, e a mesma foi colocada em saquinhos de TNT. Posteriormente, os saquinhos foram levados para tubos de digestão acondicionados em bloco digestor, onde se adicionaram 3 litros da solução detergente neutro (Lauril, sulfato de sódio, etileno glicol, EDTA dissódico, borato de sódio deca-hidratado e o fosfato ácido de sódio anidro); o aparelho calibrado a temperatura de 95 °C por 1 hora. Após este período, os saquinhos foram lavados com água destilada e acetona, e então secos na estufa a 105 °C por 12 horas e pesados para obter assim a FDN pela diferença de peso. O conteúdo de FDN, expresso como livre de cinzas, foi calculado pela diferença de peso antes e após a fervura.

A obtenção da FDA se deu pelo mesmo processo da FDN, porém com a utilização de solução detergente ácida (água destilada, ácido sulfúrico e detergente catiônico). O conteúdo de hemicelulose dos resíduos foi obtido pela diferença entre o teor de FDN e FDA. Os cadinhos filtrantes com a FDA foram submetidos à ação do ácido sulfúrico (H_2SO_4 12M) por 3 horas e posteriormente filtrados, lavados, secos e pesados, conforme descrito anteriormente. O conteúdo de celulose foi obtido pela diferença entre a perda de peso da FDA antes e após o tratamento com o ácido. O material não extraído, resultante da sucessiva extração seletiva, foi colocado em mufla a $500\text{ }^\circ\text{C}$ por 3 horas, resfriado em dessecador, pesado e calculado o conteúdo de lignina e cinzas dos resíduos. Todos os resultados obtidos foram calculados em percentagem de MS a $105\text{ }^\circ\text{C}$ e posteriormente expressos em g kg^{-1} da matéria seca.

A análise do carbono e nitrogênio total dos resíduos vegetais foi feita por combustão seca em analisador modelo PE 2400 Series II CHNS/O, sendo as pesagens das amostras (2 a 5 mg) de cada resíduo realizadas em balança analítica, com precisão de 0,00001 g. As amostras foram acondicionadas e seladas em cápsulas de estanho, sendo, em seguida, incineradas em temperatura aproximada de $950\text{ }^\circ\text{C}$, por 5 min, em um tubo de quartzo de combustão, sendo utilizado como carreador o gás O_2 , com 99,998 % de pureza. Após a combustão, toda a matéria orgânica foi convertida em CO_2 e um sensor infravermelho detectou a quantidade de dióxido de carbono (CO_2) gerado pela combustão, relacionando-a automaticamente com a quantidade de C elementar existente na amostra.

Para a análise de macronutrientes foram utilizados 10 mL de solução extratora, composta por 5 mL de ácido nítrico, 4 mL de água Milli-Q e 1 mL de peróxido de hidrogênio, para cada 100 mg amostra. As temperaturas utilizadas no microondas foram: temperatura de digestão de $180\text{ }^\circ\text{C}$, com rampa de 15 minutos (para atingir essa temperatura) e hold (tempo que permanece nessa temperatura) de 20 minutos. E resfriamento de 15 minutos. Os elementos Mg, K, Ca, P e S foram analisados no plasma óptico (ICP-OES), usando-se as seguintes linhas: Ca 422.6, K 769.8, Mg 285.2, P 178.2, S 180.7. Os resultados das concentrações de macronutrientes analisados na palhada de todos os tratamentos na época 1 e época 2 de coleta estão na (Apêndice 1 e 2).

4.5 Análises Microbiológicas

4.6 Coleta do solo

A coleta de solo para a determinação dos atributos químicos e microbiológicos foi realizada nas entrelinhas de cada parcela, no florescimento das culturas principais, na camada de 0-10, 10-20 e 20-30 cm de profundidade, totalizando 96 amostras, sendo que cada amostra foi composta por cinco subamostras. Foram coletados aproximadamente 620 g de solo/amostra. Após homogeneização, as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, devidamente identificados, colocadas em caixas térmicas com gelo e conduzidas ao laboratório de Microbiologia do Solo e Bioquímica da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília (FAV/UnB).

4.7 Respiração Basal

Para a avaliação da respiração basal (RB), as amostras de solo coletadas em campo tiveram a umidade ajustadas para 80% da capacidade de campo. Foram pesados 20 g das amostras em triplicata e em seguida incubadas imediatamente após a adição de água por um período de 7 dias em vidros de 500 mL hermeticamente fechados contendo uma solução de 10 mL de KOH 0,3 mol L⁻¹ capaz de reagir com o CO₂ liberado na atmosfera do recipiente pela atividade dos microrganismos. Nessa reação, forma-se um precipitado K₂CO₃ e a quantidade de CO₂ produzido pelos microrganismos foram estimados de forma indireta, com uma reação de titulação ácido-base. Nessa titulação, determinou-se o volume de solução alcalina que não reagiu com o CO₂, utilizando-se uma solução ácida diluída de HCl 0.1N. O resultado foi expresso em mg de C-CO₂kg⁻¹ dia⁻¹.

4.8 Carbono da Biomassa Microbiana e Carbono e Nitrogênio elementar

A subamostra destinada à biomassa microbiana foi armazenada em câmara fria a 4 °C. A coleta foi realizada na floração da cultura principal (soja e milho) de cada área experimental. Para determinação do carbono da biomassa microbiana (CBM) do solo foi utilizado o método da fumigação-extração (CFE) proposto por Brookes et al. (1985) e Vance et al. (1987). Para cada amostra foram utilizadas três repetições analíticas fumigadas com clorofórmio (F) e três repetições analíticas não fumigadas (NF). As

amostras coletadas em campo foram ajustadas para umidade de 80% da capacidade de campo, quando necessário, posteriormente foram pré-incubadas, no escuro e a temperatura ambiente, por um período de sete dias. No sexto dia de pré-incubação, metade das amostras foi fumigada por 24 horas em um dessecador contendo no centro uma placa de petri com 25 mL de clorofórmio. Após o período de fumigação, as amostras que foram fumigadas e as amostras que não foram fumigadas (amostras controle) foram submetidas ao processo de extração do carbono proveniente das células microbianas do solo. Para a extração utilizou-se uma solução de K_2SO_4 0,5 mol com pH ajustado de 6,5 a 6,8, seguido de agitação e filtração. A partir dos extratos das amostras de solo fumigadas e não-fumigadas, as amostras foram levadas para a Embrapa Cerrados e foi feita a determinação do teor de carbono da biomassa microbiana presente nesses extratos, utilizando o método de combustão a alta temperatura, com o analisador de C orgânico total (vario TOC cube, Elementar Analysensysteme GmbH, Hanau, Alemanha) com detector de infravermelho.

Para a determinação no analisador de C orgânico, 4 mL do extrato de sulfato de potássio foram transferidos para frascos de vidro (10 mL) e, em seguida foram diluídos a 1:1 com água destilada. Utilizou-se o módulo TOC/TNb precise (C orgânico total e N total combinado) de 1-100 ppm, e a calibração foi realizada com uma solução padrão de biftalato ácido de potássio a 50 ppm. A injeção das amostras foi automática (200 μ L) com o uso de um carrossel com capacidade para 50 frascos. Em ambos os métodos, o CBM foi estimado pela diferença entre o C extraído das amostras fumigadas (F) e não fumigadas (NF), com um fator de correção kEC de 0,35 (Voroney et al., 1991).

A análise do carbono total do solo foi feita por combustão seca em analisador modelo PE 2400 Series II CHNS/O, sendo as pesagens das amostras (2 a 5 mg) realizadas em balança analítica, com precisão de pesagem de 0,00001 g. As amostras foram acondicionadas e seladas em cápsulas de estanho, sendo, em seguida, incineradas em temperatura aproximada de 950 °C, por 5 min, em um tubo de quartzo de combustão, sendo utilizado como carreador o gás O_2 , com 99,998 % de pureza. Após a combustão, toda a matéria orgânica foi convertida em CO_2 e um sensor infravermelho detectou a quantidade de dióxido de carbono (CO_2) gerado pela combustão, relacionando-a automaticamente com a quantidade de C elementar existente na amostra.

O quociente microbiano foi calculado através da relação entre o carbono da biomassa microbiana e do carbono orgânico total do solo.

5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para a comparação dos tratamentos em cada uma das três áreas estudadas, foi adotada a estratégia de análise estatística denominada delineamento em blocos casualizados. Para análise estatística das variáveis dos resíduos vegetais foi adotado o seguinte modelo:

$$Y_{ij} = \mu + r_i + \tau_j + e_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$$

Onde:

μ é a média

Y_{ij} é a observação da replicação i no tratamento de ordem j ;

r_i é o efeito de bloco;

τ_j é o efeito do tratamento.

Para a comparação dos tratamentos em relação aos atributos microbiológicos, foi adotada a estratégia de análise estatística em delineamento em blocos casualizados em parcelas subdividida para cada um dos três locais estudados, sendo a variável tratamento (PDM/G, PDS/S, PDM/M, PDM/B, PDM/FBC, PDS/MB e PDS/ILP) na condição de parcela e profundidade (0-10, 10-20 e 20-30 cm) na condição de subparcela.

O modelo implícito adotado foi o seguinte:

$$Y_{ijk} = \mu + r_i + \tau_j + p_k + (\tau p)_{ik} + e_{ijk} \sim N(0, \sigma^2)$$

Onde:

μ é a média

Y_{jk} é a observação da replicação j no tratamento de ordem k ;

r_j é o efeito de bloco;

τ_k é o efeito do tratamento;

p_k é o efeito da profundidade

Com o propósito de verificar as relações entre os sistemas de produção e a qualidade, quantidade de resíduos vegetais e os atributos químicos e microbiológicos do solo, uma análise de componentes principais (ACP) foi realizada na matriz composta, visando identificar, dentre as variáveis analisadas, quais contribuiriam com maior peso na combinação linear das duas primeiras componentes principais. A ACP foi realizada utilizando o programa estatístico CANOCO, versão 4.5 (Food and Agriculture Organization of the United Nations, Nova Iorque), onde os dados de qualidade, quantidade de resíduos vegetais e os atributos químicos e microbiológicos do solo

foram plotados como variáveis explicativas, não sendo incluídos na análise como variável resposta no modelo estatístico.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Área A

6.2 Quantidade e qualidade da palhada

Na Tabela 8 estão apresentados os resultados de massa seca, carbono, nitrogênio, relação C:N, celulose, hemicelulose, lignina, e relação lignina:N dos resíduos vegetais em sistemas de produção agrícola e Cerrado nativo da área A, coletados no final do ciclo das culturas principais adotadas nos sistemas.

Tabela 8 Média e desvio-padrão da produção de massa seca (ton/ha) e dos teores de carbono (g kg^{-1}), nitrogênio (g kg^{-1}), razão C:N, hemicelulose (g kg^{-1}), celulose (g kg^{-1}), lignina (g kg^{-1}) e razão lignina:nitrogênio da parte aérea das culturas principais (milho e soja) segundo os tratamentos avaliados.

Variáveis	Tratamentos		
	PDM/G	PDS/S	CN
Massa	7,63 ($\pm 0,85$) A	2,47 ($\pm 0,92$) B	4,04 ($\pm 0,85$) B
Carbono total	367,55 ($\pm 13,46$) B	356,16 ($\pm 4,62$) B	436,87 ($\pm 22,25$) A
Nitrogênio total	24,55 ($\pm 5,89$) A	24,74 ($\pm 4,27$) A	35,38 ($\pm 5,12$) A
C:N	15,65 ($\pm 4,24$) A	14,71 ($\pm 2,73$) A	12,56 ($\pm 2,22$) A
Celulose	565,77 ($\pm 11,0$) A	567,24 ($\pm 47,50$) A	615,5 ($\pm 1,22$) A
Hemicelulose	273,03 ($\pm 8,62$) A	143,30 ($\pm 4,05$) B	101,66 ($\pm 4,22$) C
Lignina	43,44 ($\pm 7,00$) B	88,07 ($\pm 6,66$) B	264,81 ($\pm 23,73$) A
Lignina:N	1,87 ($\pm 0,64$) B	3,60 ($\pm 0,38$) B	7,58 ($\pm 1,22$) A

PDM/G- Rotações bienais de gramíneas/leguminosas (milho/guandu); PDS/D- Rotações bienais de leguminosas/gramíneas (soja/sorgo); CN- Cerrado nativo. Médias seguidas pelas mesmas letras nas linhas, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de probabilidade de 5%.

Para massa seca, o PDM/G apresentou o maior valor (7,63 ton/ha) sendo superior ao PDS/S (2,47 ton/ha) e ao Cerrado nativo (4,04 ton/ha), a expressiva produção de matéria seca (Tabela 8), pode ser explicada pelas características do milho, que acumula maior quantidade de fitomassa nos sistemas de produção, com decomposição lenta e gradual. A maior quantidade de fitomassa no sistema plantio direto contribui com maior cobertura do solo, principalmente se os resíduos vegetais da

cultura forem de decomposição lenta. A menor produtividade de matéria seca no PDS/S pode ser atribuída, em parte, à senescência e à queda de folhas que é uma característica da cultura da soja no final do seu ciclo e sua rápida decomposição. Além de maior quantidade de matéria seca o PDM/G apresentou também os maiores teores de hemicelulose (273,03 g kg¹). Segundo Darolt (1998), a quantidade mínima de fitomassa requerida para um eficiente sistema de rotação está em torno de 6 Mg ha⁻¹ em sistema de plantio direto, o PDM/G apresentou valores adequados de resíduos vegetais, já o PDS/S obteve menor valor indicando pouca eficiência em termo de cobertura da superfície do solo.

Para as variáveis carbono total, nitrogênio total, lignina e relação lignina:N, o Cerrado nativo foi superior ao PDM/G e o PDS/S, o que era esperado devido às características estruturais das plantas de Cerrado nativo.

Para a celulose e relação C:N, o PDM/G e o PDS/S apresentaram valores semelhantes ao Cerrado nativo, não diferindo estatisticamente ($p < 0,05$). A relação C:N tendeu a ser maior nos sistemas de produção, apesar de não terem diferido estatisticamente do Cerrado nativo. Os valores de relação C:N foram de 15,65 para o PDM/G e de 14,71 para o PDS/S, segundo Cantarella et al. (2007), valores de relação C:N entre 12 e 25 favorecem a mineralização, e conseqüente liberação de nutrientes para as culturas subsequentes, favorecendo o plantio das culturas de entressafra.

Os resultados da quantidade e qualidade de palhada coletadas no final do ciclo das culturas de safrinha, nos diferentes sistemas de produção agrícola da área A estão apresentados na Tabela 10.

Para as variáveis, massa seca, relação C:N e celulose, os sistemas PDM/G e PDS/S não diferiram estatisticamente do Cerrado nativo. Apesar da massa seca não ter diferido estatisticamente, o PDM/G tendeu a apresentar maiores valores que o PDS/S, mesmo padrão observado na coleta da época 1 (Tabela 8), o que pode ser atribuído à persistência da gramínea no sistema devido a sua lenta decomposição.

Os resíduos de milho e soja, apesar de não mostrarem altos valores de matéria seca (Tabela 9), apresentaram maiores teores de lignina e relação lignina/N em relação aos resíduos da safrinha (guandu e sorgo) o que faz com que os resíduos destas plantas permaneçam por mais tempo no solo. Conforme observado por Recalde et al. (2015), a produção de massa seca de adubos verdes pode contribuir efetivamente para o incremento de matéria orgânica no solo ao longo dos anos, já que está ligada a processos fundamentais como a ciclagem e acúmulo de nutrientes.

Tabela 9 Média e desvio-padrão da produção de massa seca (ton/ha) e dos teores de carbono (g kg⁻¹), nitrogênio (g kg⁻¹), razão C:N, hemicelulose (g kg⁻¹), celulose (g kg⁻¹), lignina (g kg⁻¹) e razão lignina:N da parte aérea das culturas de safrinha segundo os tratamentos avaliados.

Variáveis	Tratamentos		
	PDM/G	PDS/S	CN
Massa seca	5,08 (±1,07) A	3,85 (±1,57) A	5,05 (±1,07) A
Carbono Total	357,73 (±19,00) B	391,37 (±11,20) AB	458,82 (±25,58) A
Nitrogênio Total	21,93 (±1,50) A	17,95 (±1,92) A	31,18 (±8,97) A
C:N	16,37 (±1,58) A	21,99 (±2,66) A	15,40 (±3,61) A
Celulose	644,48 (±13,05) A	620,70 (±65,94) A	639,30 (±61,10) A
Hemicelulose	196,27 (±12,42) B	258,30 (±16,21) A	98,90 (±12,32) C
Lignina	59,71 (±3,75) B	55,58 (± 2,60) B	271,28 (±20,42) A
Lignina:N	2,72 (±0,18) B	3,11 (±0,29) B	9,20 (±2,65) A

PDM/G-Rotações bienais de gramíneas/leguminosas e segunda safra alternadas de leguminosa/gramínea, PDS/D- Rotações bienais de leguminosas/gramíneas e segunda safra alternadas de gramíneas/leguminosa; CN- Cerrado Nativo. Médias seguidas pelas mesmas letras nas linhas, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de probabilidade de 5%.

O carbono total (CT) nos resíduos vegetais do Cerrado nativo foi superior ao PDM/G e ao PDS/S, e o PDM/G e o PDS/S não diferiram entre si. De acordo com Kluthcouski et al., (2007) a presença de palhada na superfície do solo beneficia o cultivo em sucessão, principalmente em função da melhoria das condições químicas, físicas e biológicas do solo através do incremento de matéria orgânica ao sistema.

Não houve diferença estatística entre os sistemas de produção em relação ao nitrogênio total (NT) da parte aérea dos resíduos vegetais ($p < 0,05$), porém os resíduos do sorgo apresentaram teores mais baixos de NT (17,95 g kg⁻¹) comparados ao guandu (21,93g kg⁻¹) e ao Cerrado nativo (31,18 g kg⁻¹). Esse resultado corrobora com os obtidos por Ribeiro (2016), nos quais o sorgo também apresentou menores teores (14,87 g kg⁻¹) quando comparados a *Braquiária ruziziensis*, Feijão-bravo-do-ceará e Guandu.

Em relação ao teor de hemicelulose, o PDS/S apresentou o maior valor (258,30 g kg⁻¹) que pode ser explicado pelo efeito do sorgo nessa época de coleta, mesmo padrão observado na época 1, em que a palhada do milho apresentou os maiores teores dessa fração. Esses resultados foram diferentes dos encontrados por Ribeiro, (2016) trabalhando com diferentes plantas de cobertura, observou menores teores de hemicelulose em sorgo (132 g kg⁻¹). As características químicas das plantas de

cobertura podem contribuir de forma positiva aumentando a disponibilidade de nutrientes para as culturas subsequentes, como o milho, através da decomposição dos resíduos vegetais. Estudos conduzidos no Cerrado têm apresentado os efeitos benéficos das plantas de cobertura cultivadas no período de entressafra influenciando de forma positiva o rendimento das culturas cultivadas em sucessão (Boer et al., 2007).

Os teores de lignina e relação lignina:N foram superiores no CN, 271,28 g kg⁻¹ e 9,20 g kg⁻¹ respectivamente, que pode ser atribuído as características bromatológicas dessas plantas.

Não houve diferença estatística para os resultados da relação C:N e os teores de nitrogênio e celulose ($p < 0,05$). A relação C:N é um dos fatores que define a velocidade de decomposição dos resíduos vegetais, apesar de não ter apresentado diferença estatística os resíduos vegetais do tratamento PDS/S tendeu a apresentar maior valor (21,99). Resíduos vegetais com maior relação C:N tem decomposição mais lenta. O sorgo apresenta relação C/N mais elevada do que as do feijão-bravo-do-ceará e da braquiária ruziziensis (Carvalho et al., 2011; 2012). Em um trabalho realizado por Carvalho, et al., (2015) em áreas de Cerrado, os autores observaram que na decomposição dos resíduos de guandu e sorgo, os tempos de ciclagem foram elevados. Dessa forma a maior relação C:N do PDS/S diminui o tempo de decomposição do sorgo quando comparado ao guandu, que possui menor relação C:N, o que pode aumentar a persistência dessa gramínea na superfície do solo.

A combinação entre quantidade e qualidade dos resíduos vegetais, ao se considerar a composição química relacionada aos componentes estruturais (lignina, celulose e hemicelulose), à relação C/N e à relação lignina/N, explica o processo de decomposição e liberação de nutrientes (Pacheco et al., 2011; Carvalho et al., 2011, 2012). O acúmulo de nutrientes devido à decomposição da palhada favorece o plantio direto, principalmente no que diz respeito ao plantio das espécies de entressafra, devido às dificuldades de manutenção dessas espécies em um período com baixa precipitação pluviométrica, são beneficiadas pelos nutrientes liberados pelos resíduos vegetais das culturas principais.

6.3 Atributos Microbiológicos do Solo

O Cerrado nativo apresentou maiores valores de respiração basal (RB) nas três camadas de solo estudadas (Tabela 10). O CN pode ter apresentado os maiores valores

de RB em função de não sofrer influência de cultivos, e devido à entrada de maiores quantidade de resíduos vegetais com lenta decomposição em consequência dos maiores teores de lignina que os resíduos apresentam, como observados nas análises da composição química da palhada na época 1 e época 2 (Tabela 9 e 10). Além disso a maior biomassa microbiana das áreas de CN pode estar relacionada a maior RB. Mercante et al. (2008) trabalhando com diferentes coberturas vegetais, também observaram maiores valores de respiração basal do solo em áreas de Cerrado nativo.

Tabela 10 Respiração basal (mg C kg^{-1} solo dia^{-1}) do solo em dois sistemas de produção e no Cerrado nativo em três profundidades.

Tratamentos	Profundidade (cm)		
	0-10	10-20	20-30
CN	21,76 ($\pm 1,89$)aA	14,38 ($\pm 3,82$)bA	9,95($\pm 1,16$)cA
PDM/G	12,16 ($\pm 3,09$)aB	4,31 ($\pm 0,89$)bB	3,86 ($\pm 1,34$)bB
PDS/S	7,91 ($\pm 1,49$)aC	5,00 ($\pm 1,49$)aB	5,38($\pm 0,40$)aB

PDM/G- Rotações bienais de gramíneas/leguminosas e segunda safra alternadas de leguminosa/gramínea, PDS/D- Rotações bienais de leguminosas/gramíneas e segunda safra alternadas de gramíneas/leguminosa; CN-Cerrado Nativo. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na camada de 0-10 cm, a sucessão gramínea/leguminosa (PDM/G) ($12,16 \text{ mg C kg}^{-1}$ solo dia^{-1}) diferiu estatisticamente da sucessão leguminosa/gramínea ($7,91 \text{ mg C kg}^{-1}$ solo dia^{-1}) esses resultados podem ser atribuídos ao sistema radicular das gramíneas estabelecidas no momento da coleta do solo visto que a coleta foi realizada no florescimento da cultura principal, profundo, abundante e bem distribuído além da liberação de exsudatos que intensifica a atividade microbiana. Apesar de não haver diferença estatística, os resíduos vegetais de guandu apresentaram valores mais elevados de lignina e celulose (Tabela 9). Carvalho (2005) e Carvalho et al. (2008) determinaram percentagens significativamente maiores para carbonos aromáticos em material vegetal do guandu e da mucuna-cinza comparativamente ao feijão-bravo-do-ceará, contribuindo para explicar a decomposição mais lenta dos resíduos vegetais o que pode aumentar a atividade de microrganismos nas camadas mais superficiais do solo.

Na profundidade de 10-20 e 20-30 cm o CN apresentou os maiores valores de RB e os sistemas não diferiram entre si. Oliveira et al., (2016) verificaram maior respiração basal em áreas de Cerrado nativo comparados a sistemas integrados de

produção e pastagem contínua. O acúmulo constante de resíduos vegetais aumenta os níveis de matéria orgânica no solo, e conseqüentemente a atividade microbiana, liberando mais CO₂ (Lourente et al., 2011). Oliveira, (2013) também observou valores mais elevados de RB em áreas de vegetação nativa ao avaliar sistemas de ILP em um Latossolo Vermelho-Amarelo no município de Nova Canaã do Norte-MT. As áreas de vegetação nativa, por não serem influenciadas pelas práticas de cultivo e interferência das ações antrópicas, está estabelecida uma condição de equilíbrio que torna a atividade microbiana mais elevada em comparação aos sistemas de cultivo ao longo do perfil do solo.

Para o carbono da biomassa microbiana (CBM) do solo (Tabela 11), na camada de 0-10 cm o CN apresentou os maiores valores (924,57mg C kg⁻¹ solo) seguido do PDM/G e do PDS/S que não diferiram entre si. Nas camadas 10-20 e 20-30 cm o CN não diferiu estaticamente dos sistemas de produção, o que pode ser atribuído ao acúmulo dos resíduos vegetais, ao não revolvimento do solo e à sucessão de gramíneas/leguminosas e leguminosas/gramíneas após 21 anos de condução do sistema plantio direto. O acúmulo de carbono no solo através da entrada de diferentes tipos de resíduos e do sistema radicular da sucessão leguminosas/gramíneas favoreceu a manutenção do CBM nas duas maiores profundidades estudadas e nos dois sistemas de produção avaliados.

Tabela 11 Carbono da biomassa microbiana (mg C kg⁻¹ solo) do solo em dois sistemas de produção e no Cerrado nativo em três profundidades.

Tratamentos	Profundidade (cm)		
	0-10	10-20	20-30
CN	924,57(±59,83)aA	212,59(± 106,78)bA	248,27(91,12)cA
PDM/G	144,24(±21,89)aB	147,91 (± 66,74)aA	175,86(65,20)aA
PDS/S	162,73 (19,43±)aB	156,98(± 18,75)aA	193,41(41,18)aA

PDM/G- Rotações bienais de gramíneas/leguminosas e segunda safra alternadas de leguminosa/gramínea, PDS/D- Rotações bienais de leguminosas/gramíneas e segunda safra alternadas de gramíneas/leguminosa; CN-Cerrado nativo. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para o quociente microbiano do solo (qMIC), os resultados apresentaram a mesma tendência do carbono da biomassa microbiana do solo (Tabela 12), o CN apresentou maior média (3,03%) na camada de 0-10 cm, já nas camadas de 10-20 e 20-

30 cm o CN não diferiu estatisticamente dos sistemas de produção PDM/G e PDS/S, indicando que os sistemas de produção de grão sob sistema plantio direto em longa duração estão se aproximando das condições da vegetação nativa em relação a atividade dos microrganismos, que pode estar ocorrendo devido ao aumento do aporte de matéria orgânica do solo ao longo do tempo.

Os sistemas estão acumulando carbono ao longo do tempo de implantação do sistema, no entanto os valores de qMIC estão abaixo de 1%, indicando que não estão incorporando esse carbono na microbiota do solo.

Tabela 12 Quociente microbiano do solo (%) em dois sistemas de produção e no Cerrado nativo em três profundidades.

Tratamentos	Profundidade (cm)		
	0-10	10-20	20-30
CN	3,03 ($\pm 0,35$)aA	0,87 ($\pm 0,45$)bA	1,23 ($\pm 0,39$)bA
PDM/G	0,58 ($\pm 1,16$)aB	0,67 ($\pm 0,47$)aA	0,84 ($\pm 0,27$)aA
PDS/S	0,68 ($\pm 0,05$)aB	0,67 ($\pm 0,01$)aA	0,94 ($\pm 0,22$)aA

PDM/G- Rotações bienais de gramíneas/leguminosas e segunda safra alternadas de leguminosa/gramínea, PDS/D- Rotações bienais de leguminosas/gramíneas e segunda safra alternadas de gramíneas/leguminosa; CN- Cerrado nativo. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O Cerrado nativo (CN) apresentou maior valor de carbono total (CT) (30,56 g kg⁻¹ solo) na camada de 0-10 cm (Tabela 13). Os sistemas plantio direto com safra de milho e safrinha com guandu (PDM/G) e plantio direto com safra de soja e safrinha com sorgo (PDS/S) não diferiram estatisticamente. Na camada de 10-20 e 20-30 cm não houve diferença estatística entre os tratamentos, indicando que os sistemas de produção sob SPD acumularam carbono ao longo do tempo em profundidade, principalmente o PDS/S, que não apresentou diferenças significativas entre as profundidades. Essa mesma tendência foi observada nos resultados da RB (Tabela 10) e CBM (Tabela 11).

Tabela 13 Carbono total (g C kg⁻¹ solo) do solo em dois sistemas de produção e no Cerrado nativo em três profundidades.

Tratamento	Profundidade (cm)		
	0-10	10-20	20-30
CN	30,56 (±2,33)aA	24,70 (±1,25)bA	19,90 (± 1,30)cA
PDM/G	25,56 (±3,00)aAB	24,66 (± 6,25)abA	21,17 (± 4,54)bA
PDS/S	24,00 (±2,85)aB	23,27 (± 2,55)aA	20,67(± 1,24)aA

PDM/G- Rotações bienais de gramíneas/leguminosas e segunda safra alternadas de leguminosa/gramínea, PDS/D- Rotações bienais de leguminosas/gramíneas e segunda safra alternadas de gramíneas/leguminosa; CN- Cerrado Nativo. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Nesse estudo, o CN apresentou diferenças significativas entre a primeira profundidade e as demais, o que pode ser explicado pela deposição de matérias vegetais de diferentes composições e decomposições ao longo de todo ano; o PDM/G apresentou valores semelhantes na camada de 0-10 cm, e o PDS/S manteve os valores de carbono orgânico total (COT) ao longo do perfil estudado. Resultados semelhantes foram encontrados por Perez et al. (2004) em trabalho com a cultura da soja, em áreas sob diferentes sistemas de manejos, os valores de COT reduziram-se com a profundidade e o acúmulo de COT foi maior na camada superficial decrescendo com a profundidade. De acordo com Pereira et al. (2010), o uso de plantas de cobertura em SPD pode acarretar aumento em profundidade dos teores de carbono total.

Para o nitrogênio total (NT) (Tabela 14) não houve diferença entre os tratamentos nas três profundidades estudadas, com médias de 2,26 g kg⁻¹ solo, 2,06 e 2,64 g kg⁻¹ solo para as camadas 0-10 e 10-20 e 20-30 cm, respectivamente. A relação C:N apresentou o mesmo padrão de resposta, cujos valores médios são de 12,55; 12,58 e 13,31 para as profundidades 0-10, 10-20 e 20-30 cm respectivamente (Tabela 16).

Tabela 14 Nitrogênio total (g N kg⁻¹ solo dia⁻¹) do solo em dois sistemas de produção e no Cerrado nativo em três profundidades.

Tratamento	Profundidade (cm)		
	0-10	10-20	20-30
CN	3,10 (± 1,25)aA	1,93 (± 0,66)aA	5,07 (±6,44)aA
PDM/G	2,03 (± 0,49)aA	2,37 (± 0,15)aA	1,53 (±0,25)aA
PDS/S	1,66 (± 0,23)aA	1,90 (± 0,75)aA	1,33 (±0,21)aA

PDM/G- Rotações bienais de gramíneas/leguminosas e segunda safra alternadas de leguminosa/gramínea, PDS/D- Rotações bienais de leguminosas/gramíneas e segunda safra alternadas de gramíneas/leguminosa; CN- Cerrado Nativo. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A magnitude das alterações do N total depende da intensidade do manejo, da qualidade e quantidade dos fertilizantes e resíduos orgânicos que retornam ao solo (Beare et al., 1994). A ausência de revolvimento do solo e o aporte contínuo de resíduos vegetais de gramíneas e leguminosas ao longo do tempo acumularam nitrogênio no solo apresentando teores que não se diferenciaram do CN. Esses resultados corroboram com Oliveira et al., (2016) que não encontram diferença significativa em relação ao N total entre sistemas integrados, sistemas pastagem continua e Cerrado nativo. A maior atividade microbiana, refletida por maior respiração basal nos sistemas aumenta a mineralização e imobilização de nutrientes, aumentando a quantidade de nitrogênio no solo (Jarvis et al., 2007). A relação C:N (Tabela 15) manteve o mesmo padrão de resposta observado para o nitrogênio, não havendo diferença estatística entre os tratamentos.

Tabela 15 Relação C:N do solo em dois sistemas de produção e no Cerrado nativo em três profundidades.

Tratamento	Profundidade (cm)		
	0-10	10-20	20-30
CN	10,95 (±4,35)aA	13,82 (±4,55)aA	10,20(±7,41)aA
PDM/G	12,88 (±2,29)aA	10,34 (±2,00)aA	13,86 (±2,61)aA
PDS/S	14,44 (± 0,67)aA	13,63 (±5,23)aA	15,88(±3,67)aA

PDM/G- Rotações bienais de gramíneas/leguminosas e segunda safra alternadas de leguminosa/gramínea, PDS/D- Rotações bienais de leguminosas/gramíneas e segunda safra alternadas de gramíneas/leguminosa; CN- Cerrado Nativo. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O sistema PDM/G se destacou estatisticamente em relação à massa seca época 1 (ep.1), hemicelulose na época 1 e respiração basal na profundidade 1, e apesar de não diferir estatisticamente apresentou maiores valores para algumas variáveis como: Carbono total da palhada ep.1, Lignina época 2, COT na profundidade 1 e 2, NT nas três profundidades.

A utilização de gramínea (milho) na safra em sucessão a leguminosa (guandu) favoreceu o sistema em termos da quantidade de biomassa vegetal sob a superfície do solo e conseqüentemente beneficiou o acúmulo de matéria orgânica do solo, o que pode ter aumentado a atividades dos microrganismos e liberação de CO₂ na camada de 0-10 cm.

A sucessão soja sorgo apresentou maiores valores de relação C:N, CBM e qMIC. A maior relação C:N causa uma decomposição mais lenta dos resíduos vegetais o que pode contribuir com uma cobertura do solo mais duradoura beneficiando a reserva de carbono da biomassa microbiana do solo.

A inversão de gramíneas e leguminosas ao longo de 21anos de implantação não diferenciou em termo de carbono em todas as camadas. Em profundidade, os sistemas não se diferenciaram do CN, indicando maior acúmulo de carbono ao longo de 21 anos que pode ser explicado pela presença de gramíneas nos dois sistemas intercaladas bianualmente. O PDM/G acumulou mais carbono na camada superficial e foi diminuindo ao longo do perfil, mantendo os teores ao longo do perfil.

6.4 Área B

6.5 Quantidade e qualidade da palhada

Na coleta correspondente à cultura principal, os três sistemas avaliados e o Cerrado nativo apresentaram valores de matéria seca semelhantes, não diferindo estatisticamente entre si (Tabela 16), indicando que houve uma boa cobertura do solo pela cultura do milho, beneficiando o cultivo das plantas de cobertura em sucessão.

Tabela 16. Média e desvio-padrão da produção de massa seca (ton/ha) e dos teores de carbono (g kg^{-1}), nitrogênio (g kg^{-1}), razão C:N, hemicelulose (g kg^{-1}), celulose (g kg^{-1}), lignina (g kg^{-1}) e razão lignina:N na parte aérea da cultura do milho.

Variáveis	Tratamentos			
	PDM/B	PDM/M	PDM/F	CN
Massa	4,49 ($\pm 0,34$) A	5,75 ($\pm 2,13$) A	5,04 ($\pm 1,23$) A	6,29 ($\pm 0,36$) A
Carbono Total	366,12 ($\pm 10,87$) B	352,57 ($\pm 16,17$) B	363,97 ($\pm 11,98$) B	436,35 ($\pm 31,68$) A
Nitrogênio Total	29,73 ($\pm 8,65$) A	15,15 ($\pm 2,89$) A	27,75 ($\pm 10,03$) A	20,82 ($\pm 0,38$) A
C/N	13,25 ($\pm 4,84$) A	23,71 ($\pm 3,45$) A	14,23 ($\pm 4,79$) A	20,95 ($\pm 1,32$) A
Celulose	575,22 ($\pm 4,41$) A	624,34 ($\pm 0,08$) A	586,58 ($\pm 3,33$) A	602,34 ($\pm 42,68$) A
Hemicelulose	275,83 ($\pm 7,98$) A	265,30 ($\pm 20,82$) A	275,90 ($\pm 4,84$) A	89,23 ($\pm 8,59$) B
Lignina	48,66 ($\pm 2,03$) B	43,07 ($\pm 5,03$) B	50,29 ($\pm 3,63$) B	247,86 ($\pm 11,03$) A
Lignina: N	1,77 ($\pm 0,70$) B	2,88 ($\pm 0,32$) B	1,95 ($\pm 0,61$) B	11,90 ($\pm 0,31$) A

PDM/B- Sucessão anual milho/braquiária; PDM/M- Sucessão anual milho/milheto; PDM/F- Sucessão anual milho/feijão-bravo-do-ceará; CN- Cerrado nativo. Médias seguidas pelas mesmas letras nas linhas, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de probabilidade de 5%.

Esses resultados são similares aos observados na área 1, onde a cultura do milho também apresentou resultados mais elevados de matéria seca (Tabela 8).

O Cerrado nativo apresentou os maiores teores de carbono total, lignina e relação lignina:N. Para o nitrogênio, relação C:N e celulose nenhum dos tratamentos avaliados diferiram entre si. O PDM/B, PDM/M e PDM/F apresentaram teores de hemicelulose superiores ao Cerrado nativo. Apesar de não ter diferido estatisticamente o PDM/M apresentou os maiores valores de relação C:N ($23,71 \text{ g kg}^{-1}$), o uso da sucessão gramínea/gramínea se destaca pelo maior acúmulo de resíduos vegetais decorrente da maior relação C:N (Rossi et al., 2013). Esses maiores valores da relação C:N no PDM/M, indicam decomposição mais lenta e persistência dos resíduos de milho e milheto, devido ao acúmulo dessa cobertura na superfície do solo. No sistema plantio direto deve-se preconizar pela escolha de espécies vegetais com maior relação C/N, o que contribui para uma menor degradação da cobertura do solo, auxiliando na manutenção da umidade e da sua atividade microbológica (Foloni et al., 2016).

Os dados da quantidade e qualidade de palhada coletadas no final do ciclo das culturas de safrinha, nos diferentes sistemas de produção agrícola da área B estão apresentados na Tabela 17.

Tabela 17 Média e desvio-padrão da produção de massa seca (ton/ha) e dos teores de carbono (g kg^{-1}), nitrogênio (g kg^{-1}), razão C:N, hemicelulose (g kg^{-1}), celulose (g kg^{-1}), lignina (g kg^{-1}) e razão lignina:nitrogênio da parte aérea das culturas de cobertura segundo os tratamentos avaliados.

Variáveis	Tratamentos		
	PDM/B	PDM/M	PDM/F
Massa	2,60 ($\pm 0,03$) C	3,52 ($\pm 0,04$) B	4,72 ($\pm 0,02$) A
Carbono Total	407,08 ($\pm 6,55$) A	400,82 ($\pm 6,81$) A	389,49 ($\pm 14,49$) A
Nitrogênio Total	23,52 ($\pm 5,91$) B	34,55 ($\pm 1,05$) A	31,54 ($\pm 2,18$) AB
C:N	18,04 ($\pm 4,42$) A	11,28 ($\pm 0,53$) A	12,73 ($\pm 0,46$) A
Celulose	257,40 ($\pm 0,79$) C	360,20 ($\pm 0,83$) A	303,41 ($\pm 0,71$) B
Hemicelulose	263,60 ($\pm 0,29$) A	228,30 ($\pm 1,28$) B	179,90 ($\pm 0,50$) C
Lignina	25,9 ($\pm 0,08$) B	37,4 ($\pm 0,57$) AB	49,6 ($\pm 1,13$) A
Lignina:N	1,16 ($\pm 0,33$) A	1,09 ($\pm 0,20$) A	1,56 ($\pm 0,26$) A

PDM/B-Sucessão anual milho/braquiária; PDM/M- Sucessão anual milho/milheto; PDM/F- Sucessão anual milho/feijão-bravo-do-ceará; CN- Cerrado nativo. Médias seguidas pelas mesmas letras nas linhas, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de probabilidade de 5%.

O PDM/F foi o sistema que apresentou a maior quantidade de massa seca (4,72 ton/ha), o PDM/M apresentou valores intermediários (3,52 ton/ha) e o PDM/B foi o sistema com menor acúmulo de massa seca (2,60 ton/ha). Dentre as três plantas de cobertura do solo estudadas, a leguminosa foi à planta que acumulou maior quantidade de palhada no solo, que é uma característica favorável para a manutenção de resíduos no sistema PD. Carvalho et al. (2008) também encontraram rendimentos de matéria seca mais elevados em feijão-bravo-do-ceará quando comparado a nabo-forrageiro e guandu na mesma área de estudo. Carvalho et al. (2015) também encontraram a maior produtividade de matéria seca para feijão-bravo-do-ceará e seu menor valor para *Braquiária ruziziensis*. Os menores valores de massa seca verificados na época 2, deve-se aos menores índices pluviométricos que caracterizam os invernos secos do Cerrado. Produtividades baixas de matéria seca de nabo forrageiro, braquiária ruziziensis e vegetação espontânea também foi observada em regiões do Cerrado por Carvalho et al. (2015).

A utilização de plantas de cobertura do solo é preponderante para o sucesso do PD, e é uma medida que pode reduzir os impactos causados ao solo, e acarretar em uma maior economia com adubos, visto que parte dos nutrientes requeridos pelas culturas,

podem ser supridos pelos nutrientes liberados pela decomposição da palhada das espécies vegetais utilizadas como cobertura do solo. A escolha das espécies para a formação de cobertura do solo é um requisito preponderante para a implantação do SPD, de modo geral, há falta de opção de culturas para as condições da região do Cerrado (Carneiro et al., 2008).

As plantas de cobertura apresentaram teores diferenciados de nitrogênio, celulose, hemicelulose e lignina (Tabela 17). O PDM/M apresentou o maior teor de nitrogênio e não diferiu estatisticamente do PDM/F, o menor teor foi obtido no PDM/B que também não diferiu estatisticamente do PDM/F. Em relação aos teores de celulose o PDM/M também se destacou apresentando o maior teor (36,02 g kg⁻¹), o PDM/F apresentou valor intermediário (30,34g kg⁻¹) e o PDM/B o menor teor (25,74 g kg⁻¹).

As liberações de nutrientes pela decomposição das espécies cultivadas na entressafra podem proporcionar benefícios para a cultura em sucessão, como aumento da produtividade, segundo Pacheco et al. (2013) o *P. glaucum* destaca-se por iniciar a liberação de nutrientes de forma antecipada. O maior teor de hemicelulose foi obtido na parte aérea de braquiária ruzizensis, o milho apresentou teor intermediário e o feijão-bravo-do-ceará menor teor na parte aérea.

O PDM/F apresentou o maior teor de lignina (49,6 g kg⁻¹) e não diferiu estatisticamente do PDM/M (37,4 g kg⁻¹), o menor teor foi verificado no PDM/B (25,9 g kg⁻¹) que também não diferiu do PDM/M. O maior teor de lignina do PDM/F pode explicar a persistência dos resíduos e conseqüentemente maior quantidade de matéria seca. Quando os teores de lignina das plantas de cobertura da área B (Tabela 18), são comparados com os teores de lignina das culturas de safrinha da área A (Tabela 10), observa-se que os teores do feijão-bravo-do-ceará, milho e braquiária são menores que os teores do sorgo e guandu, concordando com os resultados obtidos por Carvalho et al., (2011; 2012; 2015) para as mesmas plantas de cobertura no Cerrado. Nesses trabalhos, o feijão-bravo-do-ceará e a braquiária ruzizensis apresentaram decomposição mais acelerada, explicadas por meio das menores concentrações de lignina e menor relação lignina:N (Carvalho et al., 2012). A decomposição mais rápida dos resíduos aumenta a ciclagem de nutrientes disponibilizando para as culturas subsequentes.

Para as variáveis, carbono, relação C:N e relação Lignina:N, os sistemas não se diferiram estatisticamente ($p < 0,05$). Apesar de não terem diferido estatisticamente o PDM/B apresentou maior valor (18,04 g kg⁻¹) na relação C:N, quanto maior é a relação C/N, mais lenta é a decomposição dos resíduos vegetais (Tisdall e Oades, 1982);

portanto, os benefícios quanto à proteção da superfície do solo são maiores. Carvalho et al., (2008) avaliando plantas de cobertura no Cerrado, verificaram que o nabo-forrageiro, juntamente com a *crotalaria juncea*, estão no grupo das espécies com a mais baixa razão C/N, o que promove maior velocidade de decomposição desses resíduos vegetais.

6.6 Atributos microbiológicos do solo

Na profundidade de 0-10 cm, o CN (24,79 mg C kg⁻¹ solo dia⁻¹), PDM/B (24,10 mg C kg⁻¹ solo dia⁻¹) e PDM/M (23,04 mg C kg⁻¹ solo dia⁻¹) apresentaram os maiores valores de RB e não diferiram entre si (Tabela 18). O PDM/F (14,19mg C kg⁻¹ solo dia⁻¹) apresentou menor atividade microbiana. Na camada de 10-20 cm, o solo sob milheto apresentou a maior atividade microbiana (18,51 mg C kg⁻¹ solo dia⁻¹) e o CN, PDM/B e PDM/F não diferiram entre si (p < 0,05).

Tabela 18 Respiração basal (mg C kg⁻¹ solo dia⁻¹) do solo em três sistemas de produção e no Cerrado nativo em três profundidades.

Tratamento	Profundidade (cm)		
	0-10	10-20	20-30
CN	24,79 (± 3,62)aA	11,88 (± 1,48)bB	8,71(±1,32)bA
PDM/B	24,10 (±4,68)aA	8,44 (± 1,20)bB	7,50 (±3,06)bA
PDM/M	23,04 (±5,01)aA	18,52 (±3,35)aA	8,64(±1,34)bA
PDM/F	14,19 (±6,56)aB	7,87 (±2,74)bB	6,16 (±3,13)bA

PDM/B- Sucessão anual milho/braquiária; PDM/M- Sucessão anual milho/milheto; PDM/F- Sucessão anual milho/feijão-bravo-do-ceará; CN- Cerrado nativo. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na camada de 20-30 cm não houve diferença significativa entre os tratamentos. A sucessão milho/milheto (PDM/M) se destacou na camada de 10-20 cm apresentando valores maiores que o Cerrado nativo, possivelmente, em função das características dessas plantas, como sistema radicular profundo e abundante, bem distribuído no solo e liberação de grande quantidade de exsudatos que intensifica a atividade dos microrganismos no solo, outro fator pode ser a influência anterior do milheto e a adubação no plantio em cobertura do milho.

A maior atividade dos microrganismos também pode aumentar com resíduos vegetais de maior relação C:N, como no caso do milho (Tabela 16). Carneiro et al., (2008) também encontraram valores superiores de liberação de CO₂ em áreas sob resíduos de milho, nabo forrageiro, *crotalaria spectabilis* e, na área sob pousio, com a maior atividade microbiana indicando perda de carbono na forma de CO₂ para a atmosfera. A composição química dos resíduos dessas espécies de cobertura podem levar a população microbiana a consumir mais energia, na forma de carbono, para manutenção da mesma biomassa microbiana sob interferência de resíduos vegetais com menor relação C:N.

O PDM/F apresentou menor RB na camada de 0-10 cm, na camada 10-20 cm, o PDM/M apresentou os maiores valores e na camada de 20-30 cm, não houve diferença significativa entre os sistemas de produção e o Cerrado nativo.

Na profundidade de 0-10 cm, o CN (1257,54 mg C kg⁻¹ solo) apresentou o maior valor de carbono da biomassa microbiana, o PDM/B (206,74mg C kg⁻¹ solo) e PDM/F (307,59 mg C kg⁻¹ solo) apresentaram valores intermediários e não diferiram entre si (Tabela 19).

Tabela 19 Carbono da biomassa microbiana (mg C kg⁻¹ solo) do solo em três sistemas de produção e no Cerrado nativo em três profundidades.

Tratamento	Profundidade (cm)		
	0-10	10-20	20-30
CN	1257,54 (±109,04)aA	607,65 (±87,37)bA	423,77(±99,56)cA
PDM/B	206,74 (± 57,41)aBC	85,47 (±27,72)bB	220,90 (±113,74)aB
PDM/M	133,52 (±14,92)aC	132,02 (±37,05)aB	83,86 (±7,61)aC
PDM/F	307,59 (±62,96)aB	230,36 (±11,47)aB	259,98 (±85,80)aB

PDM/B- Sucessão anual milho/braquiária; PDM/M- sucessão anual milho/milho; PDM/F- sucessão anual milho/feijão-bravo-do-ceará; CN- Cerrado nativo. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O PDM/M (133,52 mg C kg solo⁻¹) apresentou menor biomassa microbiana do solo e não diferiu PDM/B (p < 0,05). Na profundidade de 10-20 cm, o solo sob Cerrado nativo apresentou os maiores valores (607,65 mg C kg solo⁻¹) e não houve diferença significativa entre os sistemas de produção, já na profundidade de 20-30 cm, o PDM/M apresentou menores valores e não houve diferença significativa entre os outros sistemas de produção. Nas áreas de vegetação natural, o ambiente equilibrado devido à ausência

de perturbação do solo aumenta a biomassa microbiana em comparação aos sistemas de produção (Stieven et al., 2014).

A sucessão milho/braquiaria apresentou valores elevados em profundidade. Há dados mostrando que seu sistema radicular pode ter até 4 toneladas por hectares de peso de raízes. Esta poderia ser uma consequência do aumento do desenvolvimento *Urochloa sp.*, que pode atingir 4 Mg ha⁻¹ até 0,40 m de profundidade (Saraiva et al., 2014). Na sucessão milho/milheto, os valores foram semelhantes entre as profundidades, mas os valores foram baixos, principalmente na última camada de solo, podendo indicar que, apesar das gramíneas possuírem elevada densidade de raízes, não favoreceram a biomassa microbiana do solo na floração da cultura do milho. Outro aspecto importante é que a sucessão milho/feijão-bravo-do-ceara não alterou em profundidade mantendo valores altos de CBM do solo até 30 cm de profundidade, o CBM apresentou maiores valores nessa sucessão que na de PDM/M.

O PDM/F apresentou maiores valores de CBM na camada de 0-10 cm, o que pode estar associado à maior quantidade de resíduos vegetais na superfície do solo na época 2 (Tabela 18) principalmente na camada superficial, a baixa relação C:N desse resíduo, portanto, maior mineralização e liberação de N e outros nutrientes pode ter influenciado a maior biomassa microbiana em profundidade. Além disso, maior quantidade de matéria seca pode aumentar a disponibilidade de substrato, o que determina condições de menor variação térmica e temperatura do solo, além de maior disponibilidade de água, favorecendo a biomassa microbiana (Duarte et al., 2014). Esses resultados corroboram com avaliações realizadas por Ribeiro (2016) nessa mesma área de estudo, em que o feijão-bravo-do-ceará apresentou maior quantidade de matéria seca e que favoreceu o maior acúmulo de CBM no solo sob o uso dessa espécie. A presença da leguminosa aumentou a reserva de carbono no solo pela biomassa microbiana, as raízes das leguminosas possuem fácil mineralização, o que pode estimular a biota do solo e aumentar o carbono da biomassa microbiana.

O quociente microbiano do solo, assim como o carbono da biomassa microbiana, mostrou que o sistema de produção com maiores valores (Tabela 20) foi o PDM/F, com valores superiores a 1% nas três profundidades avaliadas, esse dado é importante, pois com a inclusão do feijão-bravo-do-ceará a qualidade do solo se manteve até 30 cm de profundidade, já o sistema PDM/M apresentou os menores valores nas três camadas de solo estudadas, confirmando que esse sistema de produção apresenta menor qualidade da matéria orgânica do solo, possivelmente devido à alta relação C/N das raízes dessas

gramíneas. O sistema PDM/B, também apresentou baixos valores nas camadas superficiais, mas na camada de 20-30 cm, o qMIC foi superior a 1%.

Tabela 20 Quociente microbiano do solo (%) em três sistemas de produção e no Cerrado nativo, em três profundidades.

Tratamento	Profundidade (cm)		
	0-10	10-20	20-30
CN	3,27 (\pm 0,86)aA	2,32 (\pm 0,16)bA	1,65 (\pm 0,35)cA
PDM/B	0,72 (\pm 0,20)abBC	0,38 (\pm 0,14)bc	1,03 (\pm 0,54)aA
PDM/M	0,49 (\pm 0,06)aC	0,61 (\pm 0,16)aBC	0,38 (\pm 0,08)aB
PDM/F	1,17 (\pm 0,27)aB	1,05 (\pm 0,06)aB	1,17 (\pm 0,31)aA

PDM/B- Sucessão anual milho/braquiária; PDM/M- Sucessão anual milho/milheto; PDM/F- Sucessão anual milho/feijão-bravo-do-ceará; CN- Cerrado nativo. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O PDM/F apresentou maior deposição de resíduos vegetais na época 2 (Tabela18), o que pode ter proporcionando o aumento e manutenção da população de microrganismos do solo. Este fato é confirmado através do qMIC e do CBM onde este tratamento apresentou os maiores valores. Segundo Jenkinson e Ladd (1981), o CBM representa de 1 a 4% do COT e, quando esta relação apresenta valores inferiores a 1%, indica a presença de algum fator limitante à atividade da biomassa microbiana (Jakelaitis et al., 2008).

Na camada de 0-10 cm, o CN apresentou o maior valor de CT diferindo estatisticamente dos demais tratamentos avaliados; os sistemas de produção não diferiram entre si nessa profundidade (Tabela 21). Em cada camada de solo, não houve diferença entre os sistemas de produção, indicando que os sistemas de produção estão acumulando carbono em profundidade ao longo dos anos, aproximando das condições naturais da vegetação nativa. Steiner et al., (2011), avaliando sistema de produção em rotação ou não com culturas de cobertura, também não verificaram influências significativas nos teores de carbono no solo, atribuindo tal efeito à rápida mineralização da matéria orgânica dos resíduos vegetais, corroborando com os resultados encontrados nesse trabalho.

A partir da camada de 10-20 cm, o carbono total (CT) nos sistemas de produção foi semelhante ao CN nas diferentes camadas de solo.

Tabela 21 Carbono total (g C kg⁻¹ solo) do solo em três sistemas de produção e no Cerrado nativo em três profundidades.

Tratamento	Profundidade (cm)		
	0-10	10-20	20-30
CN	39,97 (±8,63)aA	26,10 (±2,27)bA	25,63(±0,75)bA
PDM/B	28,60 (±0,61)aB	22,57 (± 1,01)bA	21,33(±0,29)bA
PDM/M	27,43(±1,07)aB	21,57 (± 0,76)bA	22,63(3,27)bA
PDM/F	26,33 (±0,81)aB	22,00 (±1,56)aA	21,86 (2,20)aA

PDM/B- Sucessão anual milho/braquiária; PDM/M- Sucessão anual milho/milheto; PDM/F- Sucessão anual milho/feijão-bravo-do-ceará; CN- Cerrado nativo. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O nitrogênio total do solo (NT) na camada de 0-10 cm foi semelhante para todos os tratamentos avaliados, indicando que, o sistema de produção sob plantio direto tem acumulado nitrogênio total nessa camada ao longo dos anos (Tabela 22). Esses resultados corroboram com os encontrados por Veras et al. (2016) trabalhando com plantas de cobertura nessa mesma área experimental onde as culturas de cobertura apresentaram resultados semelhantes para o N total nas plantas leguminosas (*C. cajan* e *C. brasiliense*) e nas gramíneas (*S. bicolor* e *U. ruziziensis*) na camada de 0-10 e 10-20 cm.

Tabela 22 Nitrogênio total (g N kg⁻¹ solo) do solo em três sistemas de produção e no Cerrado nativo em três profundidades.

Tratamento	Profundidade (cm)		
	0-10	10-20	20-30
CN	3,13 (± 0,66)aA	2,33 (± 0,80)bB	1,97(±0,72)bA
PDM/B	2,50 (± 0,30)aA	2,16 (± 0,21)aB	2,06 (±0,91)aA
PDM/M	2,93 (± 0,84)aA	3,43 (± 0,11)aA	2,13(±0,32)bA
PDM/F	2,63 (±0,15)aA	2,50 (±0,62)aAB	2,76 (±0,58)aA

PDM/B- Sucessão anual milho/braquiária; PDM/M- Sucessão anual milho/milheto; PDM/F- Sucessão anual milho/feijão-bravo-do-ceará; CN- Cerrado nativo. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na camada de 10-20 cm o PDM/M apresentou o maior teor de NT seguido do PDM/F e não diferiram estatisticamente, o CN e PDM/B apresentaram os menores teores e não diferiram entre si. Na camada de 20-30 não houve diferença significativa

em nenhum dos tratamentos analisados ($p < 0,05$). Esses dados sugerem ainda que houve um aumento do NT nos sistemas de produção PDM/B e PDM/F na camada mais profunda do solo (20-30 cm), superando o NT da área de referência e o PDM/M.

A relação C:N do solo sob os diferentes sistemas de produção foi semelhante entre eles em todas as camadas de solo, com exceção da camada de 20-30 cm que foi mais elevado no PDM/F que o PDM/M (Tabela 23). Para cada sistema de produção, não houve diferença significativa da relação C:N entre as profundidades.

Tabela 23 Relação C:N do solo em três sistemas de produção e no Cerrado nativo em três profundidades.

Tratamento	Profundidade (cm)		
	0-10	10-20	20-30
CN	13.09 (± 3.31)aA	11.98 (± 3.49)bA	14.00(± 3.97)cAB
PDM/B	11.53 (± 1.18)aB	10.46 (± 0.74)aB	11.59 (± 4.39)aAB
PDM/M	9.82 (± 2.47)aB	6.28 (± 0.15)aB	10.62(± 60.40)aB
PDM/F	10.03 (± 0.87)aB	9.17 (± 2.26)bB	8.23 (± 2.47)aA

PDM/B- Sucessão anual milho/braquiária; PDM/M- Sucessão anual milho/milheto; PDM/F- Sucessão anual milho/feijão-bravo-do-ceará; CN- Cerrado nativo. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os sistemas estudados nessa área apresentaram diferentes respostas de acordo com cada espécie estudada. Essas diferenças foram apresentadas na época 2, que foi o período de avaliação marcante das diferentes espécies de cobertura do solo. O sistema com a leguminosa feijão-bravo-do-ceará apresentou maiores valores de biomassa vegetal na superfície do solo. A sucessão milho/feijão-bravo-do-ceará apresentou os melhores resultados para carbono da biomassa microbiana, quociente microbiano e carbono total, indicando que esse sistema de produção promoveu maior quantidade de resíduos vegetais e qualidade da matéria orgânica do solo (até 30 cm de profundidade), o que favoreceu a qualidade do solo no que se refere ao acúmulo de carbono microbiano e carbono orgânico, proporcionado pelos resíduos dessa leguminosa que possui uma maior mineralização comparada às gramíneas.

6.7 Área C

6.8 Quantidade e Qualidade da palhada

Os resultados obtidos na análise da primeira época de coleta de palhada correspondente à cultura da soja, para os três tratamentos avaliados na área experimental 3 estão apresentados na Tabela 24. A massa seca produzida e os teores de nitrogênio, hemicelulose e relação C:N não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos.

Tabela 24 Média e Desvio-padrão da produção de massa seca (ton/ha) e dos teores de carbono (g kg^{-1}), nitrogênio (g kg^{-1}), razão C:N, hemicelulose (g kg^{-1}), celulose (g kg^{-1}), lignina (g kg^{-1}) e razão lignina:nitrogênio da parte aérea da cultura (soja) no final do ciclo.

Variáveis	Tratamentos		
	PDS/MB	PDS/ILP	CN
Massa	5,78 ($\pm 0,10$) A	6,48 ($\pm 0,11$) A	5,16 ($\pm 0,11$) A
Carbono Total	409,57 ($\pm 13,41$) B	398,08 ($\pm 13,08$) B	465,25 ($\pm 26,00$) A
Nitrogênio Total	45,85 ($\pm 15,94$) A	33,19 ($\pm 13,08$) A	31,11 ($\pm 8,80$) A
C:N	9,61 ($\pm 9,61$) A	13,45 ($\pm 5,05$) A	16,14 ($\pm 5,96$) A
Celulose	377,68 ($\pm 18,88$) A	398,38 ($\pm 79,24$) A	219,47 ($\pm 44,86$) B
Hemicelulose	160,62 ($\pm 7,10$) A	153,85 ($\pm 84,49$) A	106,82 ($\pm 23,23$) A
Lignina	104,95 ($\pm 9,40$) B	102,45 ($\pm 7,50$) B	271,03 ($\pm 51,57$) A
Lignina:N	2,50 ($\pm 0,77$) B	3,53 ($\pm 1,62$) B	9,40 ($\pm 3,96$) A

PDS/MB- Sucessão soja/milho+braquiária; PDS/ILP-Integração lavoura-pecuária; CN- Cerrado nativo. Médias seguidas pelas mesmas letras nas linhas, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de probabilidade de 5%.

Os resultados da quantidade de resíduos vegetais (massa seca) obtidos nessa e nas demais áreas estudadas são semelhantes ao Cerrado nativo. Resultados diferentes foram encontrados por Guareschi et al. (2012) trabalhando com sistemas de manejo sob plantio direto, com distintos tempos de implantação, em que a maior quantidade de resíduos vegetais foi encontrado em áreas de Cerrado nativo.

O Cerrado nativo apresentou os maiores teores de carbono, lignina e relação lignina:N, mesmo padrão observado nas áreas de CN contíguas às demais áreas estudadas. Os sistemas de produção PDS/MB e PDS/ILP não se diferenciaram quanto a esses teores o que era esperado, pois os dois sistemas têm como espécie principal a

cultura da soja, sendo assim os resíduos avaliados apresentaram resultados semelhantes. O PDS/MB e PDS/ILP apresentaram os maiores teores de celulose em comparação ao Cerrado nativo, e apesar de não ter apresentado diferença significativa os teores de hemicelulose também tenderam a serem maiores nos sistemas de produção.

Para a análise da palhada de milho na segunda época de avaliação (Tabela 25) não houve diferença significativa entre os tratamentos para a quantidade de massa seca e os teores de carbono, nitrogênio, celulose e hemicelulose o que já era esperado, pois os resíduos avaliados nos dois sistemas de produção foram da cultura do milho e braquiária.

Tabela 25 Média e desvio-padrão da produção de massa seca (ton/ha) e dos teores de Carbono (g kg^{-1}), nitrogênio (g kg^{-1}), razão C:N, hemicelulose (g kg^{-1}), celulose (g kg^{-1}), lignina (g kg^{-1}) e razão Lignina:Nitrogênio da parte aérea do milho safrinha e da braquiária.

Variáveis	Tratamentos		
	PDS/MB	PDS/ILP	CN
Massa	28,75 ($\pm 6,71$) A	16,83 ($\pm 4,73$) A	9,95 ($\pm 2,75$) A
Carbono Total	423,20 ($\pm 80,30$) A	427,18 ($\pm 35,32$) A	409,31 ($\pm 12,46$) A
Nitrogênio Total	22,73 ($\pm 6,72$) A	19,32 ($\pm 4,55$) A	13,51 ($\pm 5,26$) A
C/N	19,32 ($\pm 2,81$) B	23,16 ($\pm 5,62$) AB	33,07 ($\pm 9,49$) A
Celulose	357,75 ($\pm 86,95$) A	385,09 ($\pm 22,36$) A	447,02 ($\pm 19,91$) A
Hemicelulose	255,68 ($\pm 63,47$) A	258,92 ($\pm 63,48$) A	228,30 ($\pm 3,55$) A
Lignina	33,26 ($\pm 6,53$) B	38,01 ($\pm 8,40$) B	275,23 ($\pm 10,77$) A
Lignina:N	1,58 ($\pm 0,70$) B	1,65 ($\pm 0,44$) B	22,18 ($\pm 6,38$) A

PDS/MB- Sucessão soja/milho+braquiária; PDS/ILP-Integração Lavoura-pecuária; CN- Cerrado nativo. Médias seguidas pelas mesmas letras nas linhas, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de probabilidade de 5%.

Apesar de não ser verificada diferença estatística significativa, os sistemas de produção apresentaram maiores quantidades de matéria seca quando comparados ao Cerrado nativo. A quantidade de matéria seca dos resíduos vegetais acumulados protege o solo contra a erosão, e, além disso, pelos processos de decomposição e mineralização da palhada pode liberar quantidades consideráveis de nutrientes ao sistema produtivo, principalmente de N e K, beneficiando as culturas cultivadas em sucessão na área (Costa et al., 2014).

Para os teores de lignina e relação lignina:N, o Cerrado nativo destacou-se com valores superiores ao PDS/MB e PDS/ILP e os mesmos não se diferenciaram, o mesmo padrão foi observado em relação a essas variáveis na época 1 (Tabela 24). Quanto a relação C:N o Cerrado nativo foi semelhante ao PDS/ILP, o PDS/MB apresentou o menor valor e não diferiu do PDS/ILP.

Os teores de carbono e hemicelulose foram semelhantes em todos os tratamentos estudados, não havendo diferença estatística ($p < 0,05$). O teor de nitrogênio foi maior nos sistemas de produção do que no Cerrado nativo e não diferiram entre si. Para os teores de celulose, lignina, lignina:N e relação C:N, o Cerrado apresentou valores superiores diferindo estatisticamente dos sistemas de produção ($p < 0,05$). Esse padrão pode ser atribuído à qualidade do material que está originando a matéria orgânica leve na área de Cerrado nativo, pois é comum esse tipo de vegetação apresentar grande diversidade vegetal, que depositam no solo resíduos orgânicos de diferentes tamanhos e com alta quantidade de lignina (Cianciaruso et al., 2006).

Kliemann, et al. (2006) avaliando as taxas de decomposição de resíduos de espécies de cobertura em Latossolo vermelho em sistema de PD no município de Santo Antônio de Goiás (GO) verificaram a mesma tendência observada no presente trabalho, ou seja, produção de biomassa seca de braquiária superior ($12,42 \text{ Mg ha}^{-1}$). Na análise da palhada de *U. ruzizienses* na segunda época (Tabela 25) a massa seca foi maior nos sistemas de produção PDS/MB e PDS/ILP, o PDS/ILP não diferiu do Cerrado nativo.

A *U. ruzizienses* possui grande potencial na manutenção da palha sobre o solo devido à sua alta relação C/N, quando comparado às leguminosas, por exemplo, como a cultura da soja em que os valores de relação C:N foram menores (Tabela 25), o que retarda sua decomposição e aumenta a possibilidade de utilização em regiões mais quentes. Esses resultados corroboram com os obtidos por Mingotte et al. (2014), que observaram diferenças entre os sistemas de cultivo em relação a porcentagem de cobertura morta, com maiores valores para *U. ruziziensis* exclusiva e em no consórcio com milho. A quantidade de palhada produzida no SPDS/MB ($27,31 \text{ t/ha}^{-1}$), a palhada de *U. ruziziensis*, foi maior que os resultados encontrados por Gomes Junior et al. (2008) de $12,3 \text{ t ha}^{-1}$ (*U. brizantha*). Efeitos benéficos de braquiárias sobre a produtividade de culturas como milho e soja já vêm sendo comprovados em sistemas integrados de lavoura pecuária (Vilela et al., 2011).

6.9 Atributos Microbiológicos do solo

Na profundidade de 0-10 cm, o PDS/ILP (16,47 mg C kg⁻¹ solo dia⁻¹) e PDS/MB (14,48 mg C kg⁻¹ solo dia⁻¹) apresentaram os maiores valores de RB e não diferiram entre si, o CN apresentou a menor atividade microbiana (11,01 mg C kg⁻¹ solo dia⁻¹) comparado aos sistemas de produção (p<0,05) (Tabela 26). A maior atividade microbiana nos sistemas de produção é estimulada pelo fornecimento contínuo de resíduos orgânicos ao longo dos 26 anos de implantação do sistema plantio direto e, além disso, a ausência de revolvimento do solo, conduzindo os sistemas ao equilíbrio.

A atividade microbiana está diretamente relacionada com a quantidade de resíduos acumulados no solo na sua superfície, destacando o esterco bovino como grande influenciador (Carvalho et al., 2011). Costa et al. (2015) também não encontraram diferenças significativas em relação a RB nem com efeito acumulativo de aplicação de fezes em pelo menos uma das áreas estudadas.

Tabela 26 Respiração basal (mg C kg⁻¹ solo dia⁻¹) do solo em dois sistemas de produção e no Cerrado nativo em três profundidades.

Tratamento	Profundidade (cm)		
	0-10	10-20	20-30
CN	11,01 (± 3,72)aB	7,90 (± 0,63)bA	5,41(± 1,67)cA
PDS/MB	14,48 (± 3,23)aA	7,41 (± 1,84)bA	3,41 (± 0,95)cA
PDS/ILP	16,47 (± 2,40)aA	5,71 (± 1,67)bA	5,00(± 1,14)bA

PDS/MB- Sucessão soja/milho+Braquiária; PDS/ILP- Integração Lavoura Pecuária; CN- Cerrado Nativo. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Nas camadas de 10-20 e 20-30 cm não houve diferença estatística entre os tratamentos avaliados. No CN e no PDS/MB a atividade microbiana decresceu de acordo com a profundidade estudada, ocorrendo diferenças estatísticas nas três camadas, no PDS/ILP a camada de 10-20 e 20-30 cm não diferiu estatisticamente indicando uma maior atividade microbiana em profundidade.

Na camada de 0-10 cm, o PDS/ILP (716,27 mg C kg⁻¹ solo) apresentou o maior valor de carbono da biomassa microbiana, superando os dados da área sob Cerrado nativo (485,06 mg C kg⁻¹ solo) e com menor valor o PDS/MB (178,12 mg C kg⁻¹ solo) (p<0,05) (Tabela 27). Esses resultados corroboram com os de Oliveira et al. (2016) em

que os maiores valores de CBM foram encontrados na integração lavoura-pecuária comparados a sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, Cerrado nativo e áreas com pastagens contínuas. De acordo com Lopes et al. (2013), os valores de CBM na camada (para Latossolo argilosos no Cerrado) de 0-10 cm obtida no presente trabalho foram adequados para solos sob Cerrado ($> 405 \text{ mg kg}^{-1}$), valores baixos para o PDS/MB ($< 206 \text{ mg kg}^{-1}$) e adequados para o PDS/ILP ($> 405 \text{ mg kg}^{-1}$), indicando que o sistema sob plantio direto com a inclusão de animais melhorou a qualidade do solo na primeira profundidade.

Costa (2015) obteve um aumento da biomassa microbiana tanto devido à adição de excretas no solo (fezes e urina), a autora observou ainda que houve também um efeito acumulativo da adição de excretas, promovendo um aumento do CBM.

Tabela 27 Carbono da biomassa microbiana (mg C kg^{-1} solo) do solo em dois sistemas de produção e no Cerrado nativo em três profundidades.

Tratamento	Profundidade (cm)		
	0-10	10-20	20-30
CN	485,06 ($\pm 73,50$)aB	484,75($\pm 82,59$)aA	274,73 ($\pm 104,77$)bA
PDS/MB	178,12($\pm 65,80$)aC	101,84($\pm 21,91$)aC	125,23 ($\pm 40,72$)aB
PDS/ILP	716,27($\pm 48,42$)aA	209,33($\pm 89,12$)bB	185,94 ($\pm 53,13$)bB

PDS/MB- Sucessão soja/milho+Braquiária; PDS/ILP- Integração Lavoura Pecuária; CN- Cerrado Nativo. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na camada 10-20 cm, também houve diferença estatística ($p < 0,05$) entre os três tratamentos estudados, o CN se destacou com valor superior ($484,75 \text{ mg C kg}^{-1}$ solo), seguido do PDS/ILP ($209,33 \text{ mg C kg}^{-1}$ solo) e com menor valor o PDS/MB ($101,84 \text{ mg C kg}^{-1}$ solo) indicando que a entrada de animais afeta o CBM até a camada de 10-20 cm. Na terceira camada estudada o CN foi superior ($274,73 \text{ mg C kg}^{-1}$ solo) e o PDS/MB e PDS/ILP não diferiram entre si.

Na camada de 0-10 cm e 10-20 cm o PDS/ILP apresentou os maiores valores de carbono total (CT), diferindo estatisticamente dos demais tratamentos avaliados, o PDS/MB e o CN apresentaram resultados semelhantes e não diferiram entre si ($p < 0,05$) (Tabela 28). A entrada de animais nesse sistema para pastejo influenciou de forma positiva no aumento do CT do solo. Em sistemas de integração lavoura-pecuária, as excretas dos animais na forma de esterco e de urina, influenciam a dinâmica do carbono

no solo (Souza, et al., 2010). Segundo Costa (2015) os atributos microbiológicos do solo tendem a aumentar gradualmente com o desenvolvimento do componente pastagem do sistema de Integração lavoura-pecuária, associada a aplicações de excretas bovinas. O desenvolvimento da pastagem em consórcio com a cultura do milho e a entrada de animais no sistema aumentou os teores de matéria orgânica do solo ao longo do tempo, elevando o CT.

Tabela 28 Carbono total (g C kg⁻¹ solo) do solo em dois sistemas de produção e no Cerrado nativo em três profundidades.

Tratamento	Profundidade (cm)		
	0-10	10-20	20-30
CN	32,47 (± 2,64)aB	24,15 (± 1,11)bB	19,77 (±0,12)cB
PDS/MB	33,27(±3,28)aB	23,35(± 1,02)bB	22,55 (±0,87)bA
PDS/ILP	39,15 (± 0,97)aA	27,82(± 2,76)bA	22,85 (±0,88)cA

PDS/MB- Sucessão soja/milho+Braquiária; PDS/ILP-Integração Lavoura-Pecuária; CN- Cerrado Nativo. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na camada de 20-30 cm o PDS/ILP e o PDS/MB foram superiores ao Cerrado nativo e não diferiram entre si ($p < 0,05$). Esses resultados indicam que os sistemas de produção acumularam carbono ao longo do tempo nas camadas mais profundas do solo, este fator pode ser atribuído ao sistema radicular das gramíneas adotadas nos mesmos. Com sistema radicular abundante e bem distribuído e com maior exsudação de compostos orgânicos, que contribuiu com os maiores valores de CT nessa camada. Costa et al. (2014) em áreas de sistema plantio direto em Mato Grosso do Sul, verificaram estoque de carbono no solo, na camada de 0-0,20 m maior nas áreas de cultivo onde as espécies forrageiras foram implantadas em sucessão às culturas produtoras de grãos.

A entrada de animais em sistemas de produção altera os fluxos entre os compartimentos de carbono. Devido principalmente à ingestão de nutrientes, via consumo da forragem pelos animais, sua digestão e posterior retorno ao sistema (Cavalcante, 2011), ocorrendo ciclagem dos nutrientes pelo material orgânico, o que resulta em nova dinâmica dos nutrientes entre os compartimentos do sistema. Parte dos nutrientes aportados no sistema é exportada pela produção animal (Souza et al., 2009). A quantidade de nutrientes exportados através de produtos animais, em sistemas de

pastejo é muito menor em relação ao total reciclado, pois 60 a 99% dos nutrientes ingeridos retornam ao pasto na forma de excreta (Hentz et al., 2014).

Na camada de 0-10 cm, o qMIC apresentou maiores valores no PDS/ILP e no CN; já nas outras camadas de solo, não houve diferença significativa entre os sistemas de produção, mas estes foram menores que o CN (Tabela 29). O PDS/ILP apresentou maior quociente microbiano somente na camada mais superficial (1,83%), mas nas camadas inferiores do solo esses valores foram abaixo de 1%, indicando que a biomassa microbiana do solo estava sob estresse (Jenkison et al., 1981). Deve-se considerar que o quociente microbiano é a razão entre o CBM e o CT, e o CBM pode alterar-se dependendo da época de coleta e mesmo durante o ciclo de uma cultura, conforme obtido por Perez et al. (2005).

Tabela 29 Quociente microbiano (%) do solo em dois sistemas de produção e no Cerrado nativo em três profundidades.

Tratamento	Profundidade (cm)		
	0-10	10-20	20-30
CN	1,50 (\pm 0,26)bA	2,02 (\pm 0,38)aA	1,38 (\pm 0,52)bA
PDS/MB	0,55 (\pm 0,23)aB	0,43 (\pm 0,09)aB	0,55 (\pm 1,16)aB
PDS/ILP	1,83 (\pm 0,17)aA	0,77 (\pm 0,37)bB	0,81 (\pm 0,23)bB

PDS/MB- Sucessão soja/milho+braquiária; PDS/ILP- Integração lavoura-pecuária; CN- Cerrado nativo. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O quociente microbiano variou de 0,55 a 2,02 % e foi geralmente maior no Cerrado nativo e no SPD/ILP. Resultados semelhantes a esse estudo foram encontrado por Oliveira et al. (2016) trabalhando com diferentes sistemas de integração (pastagens contínuas e Cerrado nativo) verificaram que os valores de quociente microbiano foram maiores no Cerrado nativo e no sistema de integração lavoura-pecuária. Valores abaixo de 1% podem estar indicando limitação para a atividade microbiana do solo (Araújo et al., 2014). O qMIC é a razão do CBM em relação ao CT e maiores valores indicam maior eficiência na conversão de carbono do solo em CBM (Xavier et al., 2006). Em solos de baixa disponibilidade de nutrientes, ou com baixa qualidade do substrato, ou qualquer outro fator de perturbação e limitação, a biomassa microbiana é incapaz de utilizar completamente o COT (Leite et al., 2013).

O nitrogênio total do solo foi semelhante entre os sistemas de produção e as camadas de solo avaliadas (Tabela 30).

Tabela 30 Nitrogênio total (g N kg⁻¹ solo) do solo em três sistemas de produção e no Cerrado nativo em três profundidades.

Tratamento	Profundidade (cm)		
	0-10	10-20	20-30
CN	3,30 (± 0,67)aA	3,37 (± 0,60)aA	2,20 (±0,18)aA
PDS/MB	5,15 (± 0,13)aA	3,50 (± 0,72)aA	3,47 (±1,11)aA
PDS/ILP	3,85 (± 1,07)aA	6,05 (± 0,60)aA	3,55 (±1,71)aA

PDS/MB- Sucessão soja/milho+braquiária; PDS/ILP- Integração lavoura-pecuária; CN- Cerrado nativo. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A relação C:N do solo, em geral, foi semelhante entre os sistemas de produção e as camadas de solo avaliadas, com exceção da camada de 0-10 cm, que mostrou menor relação C:N no PDS/MB que o PDS/ILP. Na camada de 20-30 cm a relação C:N foi menor que na camada de 0-10 cm (Tabela 31).

Tabela 31 Relação C:N do solo em dois sistemas de produção e no Cerrado nativo em três profundidades.

Tratamento	Profundidade (cm)		
	0-10	10-20	20-30
CN	10,16 (±2,18)aAB	6,87 (±0,96)aA	9,03 (±0,76)AA
PDS/MB	6,47 (±0,79)aB	6,86 (± 1,30)aA	7,02 (±2,31)aA
PDS/ILP	10,80(±3,13)aA	8,45(±5,33)abA	7,60 (± 3,54)BA

PDS/MB- Sucessão soja/milho+Braquiária; PDS/ILP- Integração Lavoura Pecuária; CN- Cerrado Nativo. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Não houve diferença estatística na avaliação da quantidade e qualidade da palhada nos sistemas avaliados nessa área, o que já era esperado, pois a biomassa vegetal produzida nos dois sistemas foi a mesma, o que diferenciou os dois sistemas foi a entrada de animais no sistema PDS/ILP. Esse sistema apresentou os melhores resultados nas avaliações de CBM na primeira camada com valor 4 vezes maior que o PDS/MB, e na segunda camada foi duas vezes maior que o PDS/MB, apresentou

também maior qMIC na primeira camada (comparando PDS/MB) chegando a quase 2%, se igualando ao CN, maiores teores de CT na primeira e segunda camada, maior relação C:N comparado ao PDS/MB na primeira camada se igualando ao CN.

Esses resultados indicam que a entrada de animais no sistema de longa duração, influenciou de maneira positiva nos atributos químicos e microbiológicos do solo, com valores semelhantes e até superiores aos do CN.

7. Análise de componentes principais

Duas análises de componentes principais (ACP) foram geradas como ferramenta para avaliação da influência dos atributos químicos, microbiológicos e qualidade dos resíduos vegetais nas três áreas avaliadas sem a presença do Cerrado nativo, a fim de comparar apenas os sistemas de produção e a diferença entre eles pelas variáveis analisadas. As relações entre as variáveis dos resíduos vegetais e os atributos do solo nos sistemas de produção de grãos, podem ser visualizadas a partir da ACP.

Na ACP das variáveis referentes à quantidade e qualidade dos resíduos vegetais a variabilidade dos dados foi explicada em 86,4% no eixo 1 (Dimensão 1) e 10,9% no eixo 2 (Dimensão 2), totalizando 97,3% da variabilidade total dos dados (Figura 7). No eixo 1 observa-se que o agrupamento dos tratamentos PDS/S e PDM/G da área A, foram influenciados principalmente pelo teor de celulose, com maior contribuição no primeiro eixo. A relação C:N também influenciou o primeiro eixo porém com menor contribuição comparado à celulose.

A relação C/N tem sido apontada por muitos autores como principal parâmetro no processo de decomposição. Em um estudo realizado por Acosta et al. (2013), os mesmos associaram a relação C/N com a magnitude dos compartimentos, e constataram que o aumento da relação C/N está diretamente associado com o incremento do compartimento recalcitrante e inversamente com o compartimento lábil. Diferentemente desses estudos, no presente trabalho a celulose foi apontada como a fração que mais influenciou os sistemas, principalmente as sucessões bianuais de gramíneas/leguminosas e leguminosas/gramíneas da área A. Maiores teores de celulose, tornam os resíduos vegetais mais resistentes à decomposição, maiores teores de lignina e de celulose, tornando-o mais resistentes à decomposição. A celulose corresponde a aproximadamente 40% de toda reserva de carbono disponível no vegetal e seu conteúdo varia de 20 a 99% e está presente em todos os vegetais (Rabelo, 2007).

Em contrapartida, o eixo 1 com altos valores negativos (variável nitrogênio), foi o que mais influenciou, o que explica a menor variabilidade dos dados. Para o teor de nitrogênio da palhada, os tratamentos que tiveram maior influência foram os sistemas da área C (PDS/MB e PDS/ILP), porém com maior variabilidade, como observado na figura 7. As concentrações de carbono, lignina e macronutrientes dos resíduos vegetais, além da quantidade de matéria seca, também tiveram influência, porém menor que o nitrogênio, sendo os tratamentos PDS/MB, PDS/ILP mais influenciados por essas variáveis, principalmente o tratamento PDS/MB sem a entrada de animais.

No segundo eixo, a variável que mais influenciou foi o teor de lignina com altos valores positivos, entretanto o PDS/ILP se destacou com maior variabilidade. A fração hemicelulose influenciou no segundo eixo com altos valores negativos e o sistema PDM/M foi o tratamento mais influenciado pela hemicelulose, com tendência inversamente proporcional à fração de lignina. Deve-se destacar que o eixo 2 explica somente 10,9 % da variabilidade dos dados.

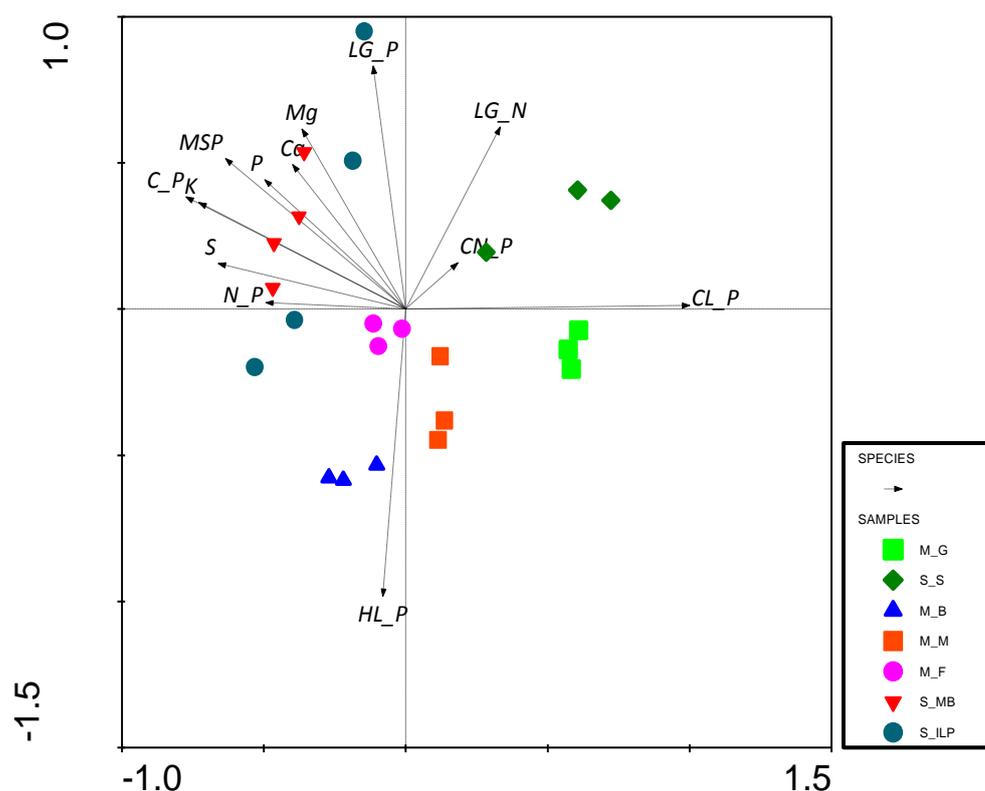


Figura 7. Análise de componentes principais para as variáveis de qualidade de resíduos vegetais dos diferentes sistemas de produção. M_G: Rotações bienais de gramíneas/leguminosas (milho/guandu) e segunda safra alternadas de leguminosa/gramínea (soja/sorgo); S_S: Rotações bienais de leguminosas/gramíneas (soja/sorgo) e segunda safra alternadas de gramíneas/leguminosa (milho/guandu); M_B: Sucessão anual milho/braquiária; M_M Sucessão anual milho/milheto; M_F: Sucessão anual milho/feijão-bravo-do-ceara; S_MB: Sucessão soja/milho+braquiária; S_ILP: Integração lavoura-pecuária.

Na ACP das variáveis referentes aos atributos químicos e microbiológicos do solo, a variabilidade dos dados foi explicada em 99,9 % no eixo 1 (Dimensão 1) e 0,1% no eixo 2 (Dimensão 2), totalizando 100% da variabilidade total dos dados (Figura 8). No eixo 1, que explica maior parte da variabilidade, o carbono da biomassa microbiana influenciou fortemente o tratamento PDS/ILP, seguido do qMIC e do CT. O tratamento que foi mais influenciado por essas variáveis foi o PDS/ILP, indicando alta correlação desse sistema com o CBM, qMIC e CT do solo. O nitrogênio total do solo também influenciou o PDS/ILP no eixo 1, porém com menor correlação. O PDM/F tendeu a ser influenciado por essas variáveis no eixo 1, porém com maior variabilidade. Esses resultados corroboram com os encontrados por Oliveira et al. (2016), trabalhando com diferentes sistemas de manejo que encontraram correlação dos indicadores microbiológicos, principalmente o CBM, com um sistema de integração lavoura-pecuária.

A respiração basal do solo influenciou os tratamentos com altos valores positivos no eixo 2, apresentando maior correlação com os sistemas da área B (PDM/M, PDM/B e PDM/F). Também no eixo 2, com autovalores negativos, a relação C/N influenciou com maior correlação principalmente nos sistemas PDS/S e PDM/G. Apesar da maioria dos sistemas terem se correlacionado com a RB e relação C/N esses só explicam uma pequena parte da variabilidade; grande parte da variabilidade é explicada pelas demais variáveis que se correlacionaram com o PDS/ILP.

O presente estudo mostrou que os indicadores químicos e microbiológicos, especialmente CBM, qMIC e COT, são sensíveis aos sistemas de cultivo e que o PDS/ILP foi o sistema com maior correlação com esses indicadores. A entrada de animais assim como a entrada de resíduos vegetais ao longo de 26 anos da implantação desse sistema pode ter contribuído positivamente com o aumento dos teores de carbono orgânico, carbono microbiano e conseqüentemente quociente microbiano do solo.

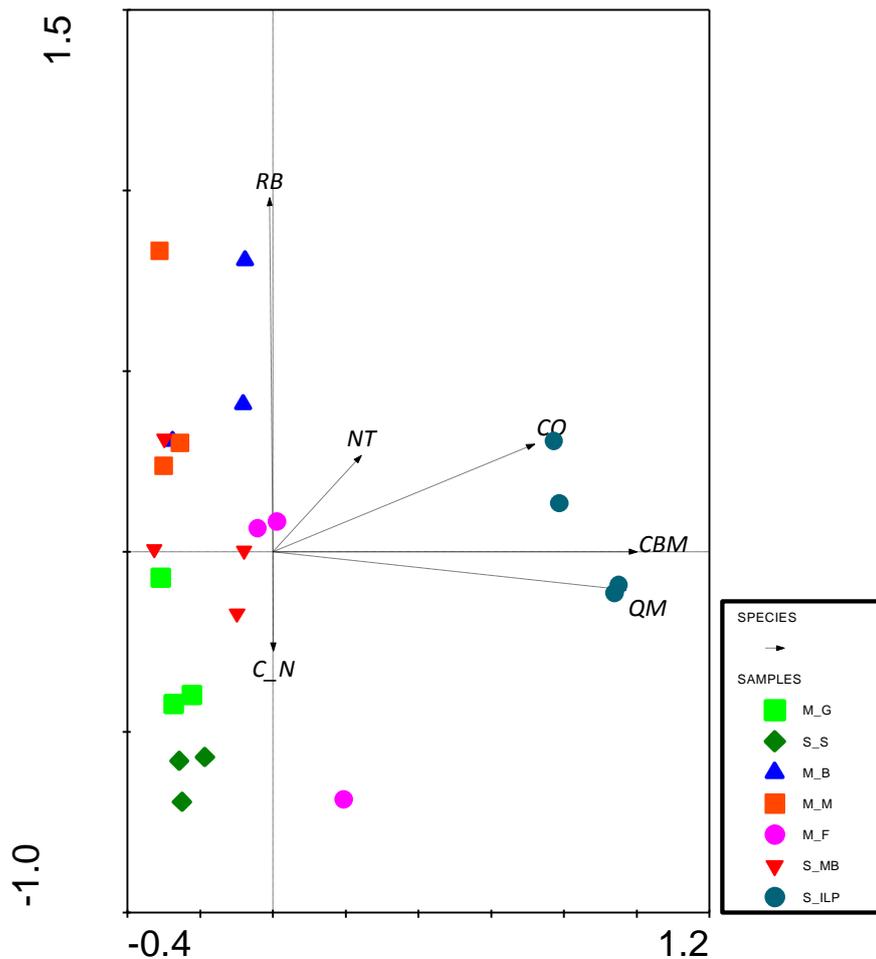


Figura 8. Análise de componentes principais para as variáveis dos atributos químicos e microbiológicos do solo dos diferentes sistemas de produção. M_G: Rotações bienais de gramíneas/leguminosas (milho/guandu) e segunda safra alternadas de leguminosa /gramínea (soja/sorgo); S_S: Rotações bienais de leguminosas/gramíneas (soja/sorgo) e segunda safra alternadas de gramíneas/leguminosa (milho/guandu); M_B: Sucessão anual milho/braquiária; M_M Sucessão anual milho/milheto; M_F: Sucessão anual milho/feijão-bravo-do-ceara; S_MB: Sucessão soja/milho+braquiária; S_ILP: Integração lavoura-pecuária.

8. CONCLUSÕES

- ✓ A sucessão bianual de gramíneas e leguminosas ou leguminosas e gramíneas ao longo de 21 anos de implantação não alterou os atributos do solo em todas as camadas. Em profundidade, os sistemas não se diferenciaram do CN, indicando maior acúmulo de carbono ao longo do tempo.
- ✓ A sucessão entre plantas de cobertura e milho apresentaram comportamentos diferenciados na quantidade e qualidade dos resíduos vegetais e alteram os indicadores microbiológicos do solo.

- ✓ A sucessão gramínea/leguminosa (milho/feijão-bravo-do-ceará) manteve valores de CBM entre 230 e 307 mg C/kg solo até 30 cm de profundidade, valores de qMIC acima de 1% em todas as profundidades e o CT semelhante em todas as profundidades, indicando que esse sistema de produção promoveu maior qualidade da matéria orgânica do solo.
- ✓ Na área C, a entrada de animais no PDS/ILP promoveu maiores valores dos indicadores microbiológicos do solo, principalmente na camada de 0-10 cm, influenciando a qualidade da matéria orgânica do solo na camada superficial.
- ✓ O efeito dos diferentes sistemas de produção de grãos sob plantio direto com diferentes rotações, sucessões e inclusão da integração lavoura-pecuária, ao longo do tempo, foi diferenciado, principalmente, pelo tipo de espécie adotada (leguminosa ou gramínea) e pela entrada de animais nos sistemas.
- ✓ O sistema com integração lavoura-pecuária foi influenciado pelo CBM, qMIC e COT, indicando que esse sistema promoveu aumento da qualidade dos atributos do solo e contribuiu com acúmulo de carbono no solo ao longo de 26 anos.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADÂMOLI, J.; MACEDO, J.; AZEVEDO, L. G.; MADEIRA NETO, J. Caracterização da região dos Cerrados. In: GOEDERT, W. J. **Solos dos cerrados: tecnologias e estratégias de manejo**. Planaltina: Embrapa- CPAC; São Paulo: Nobel, p. 33-74, 1986.

AITA, C.; GIACOMINI, S.J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 27, p. 601- 612, 2003.

ALMEIDA, J. A.; BERTOL, I.; LEITE, D.; AMARAL, A. J.; ZOLDAN JR., W. A. Propriedades químicas de um Cambissolo Húmico sob preparo convencional e semeadura direta após seis anos de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.437-445, 2005.

ARATANI, R. G.; FREDDI, O. S.; CENTURION, J. F.; ANDRIOLI, I. Qualidade física de um Latossolo Vermelho Acriférricosob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.677-687, 2009.

ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, n. 1, p. 66-75, 2007.

ARAÚJO, S.E.N.; SILVA, A.N.; KUSDRA, J.F.;KOLLN, F.T.; ANDRADE, R. de C. Atividade biológica desolo sob cultivo múltiplo de maracujá, abacaxi, milho, mandioca e plantas de cobertura. **Revista Ciência Agronômica**, v.45, p.650-658, 2014.

ARAÚJO, A. S. F.; SANTOS, B. B.; MONTEIRO, R. T. R. Responses of soil microbial biomass and activity for practices of organic and conventional farming systems in Piauí state, Brazil. **European Journal of Soil Biology**, v. 44, n. 2, p. 225-230, 2008.

AZEVEDO, D. M. P.; LEITE, L. F. C.; TEIXEIRA NETO, M. L.; DANTAS, J. S. Atributos físicos e químicos de um Latossolo Amarelo e distribuição do sistema radicular da soja sob diferentes sistemas de preparo no cerrado maranhense. **Revista Ciência Agronômica**, v.38, p.32-40, 2007.

BABUJIA, L. C.; HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J.C.; BROOKES, P. C. Microbial biomass and activity at various soil depths in a Brazilian oxisolafter two decades of no-tillage and conventional tillage. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 42, p. 2147-2181, 2010.

BALBINO, L. C.; BARCELLOS, A. de O.; STONE, L.F. **Marco referência: Integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF)**. Embrapa, Brasília DF, 130p, 2011.

BALOTA, E.L.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D.S.; HUNGRIA, M. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.22, p.641-649, 1998.

BALOTA, E.L.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D.S.; DICK, R.P. Microbial biomass in soils under different tillage and crop rotation systems. **Biology and Fertility of Soils**, v.38, p. 15-20, 2003.

BEARE, M.H.; CABRERA, M.L.; HENDRIX, P.F.; COLEMAN, D.C. Aggregate-protected and unprotected organic matter pools in conventional-tillage and no-tillage soils. **Soil Science Society of American Journal**, v.58, p.787-795, 1994.

BEUCHLE, R.; GRECCHI, R.C.; SHIMABUKURO, Y. E.; SELIGER, R.; EVA, H. D.; SANO, E.; ACHARD, F. E. Land cover changes in the Brazilian Cerrado and Caatinga biomes from 1990 to 2010 based on a systematic remote sensing sampling approach. **Applied Geography**, v. 58, p. 116-127, 2015.

BOER, C.A; ASSIS, R.L; SILVA, G.P; BRAZ, A.J.B.P; BARROSO, A.L.L; CARGNELUTTI FILHO, A.C; PIRES, F.R. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura na entressafra em um solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 9, p. 1269-1276, 2007.

BOLLIGER, A.; MAGID, J.; AMADO, T.J.C.; NETO, F.S.; SANTOS RIBEIRO, M.F.; CALEGARI, A.; RALISCH, R.; NEERGAARD, A. Taking stock of the Brazilian “Zero Till Revolution”. **Advence in Agronomy**,v.91, p.47-110, 2006.

BORGHI, É.; CRUSCIOL, C.A.C; COSTA, C. Desenvolvimento da cultura do milho em consorciação com *Brachiaria brizantha* em sistema plantio direto. **Energia Agrícola**.v.21, p.19-33, 2006.

BORTOLINI, D.; BRAIDA, J. A.; CASSOL, L. C.; MIGLIORINI, F.; SILVA, M. R.; FERRAZZA, J. M. Altura de manejo de papuã e propriedades de solo em sistema de integração lavoura-pecuária. **Revista Ceres**, v. 60, n.4, p. 535-543, 2013.

BUSTAMANTE, M.M.C; NARDOTO,G.B; PINTO,A.S; RESENDE, JCF, TAKAHASHI, F.S.C.; VIEIRA, L.C.G. Potential impacts of climate change on biogeochemical functioning of Cerrado ecosystems. **Brazilian Journal of Biology**, vol. 72, no. 3 p. 655-671, 2012.

CALEGARI, A. Plantas de cobertura. In: CASÃO JÚNIOR, R. et al. Sistema plantio direto com qualidade. Londrina: Iapar; Foz do Iguaçu: **Itaipu Binacional**, p. 55-74, 2006.

CANTARELLA, E. Nitrogênio In: Novais, R.F, Alvarez, V.H, Barros, N.F, Fontes, R.L.F, Cantarutti, R.B , Neves J.C.L. ed. Fertilidade do solo. Viçosa, MG, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, p.375-470, 2007.

CARNEIRO, M.A.C.; CORDEIRO, M.A.S.; ASSIS, P.C.R.; MORAES, E.S., PEREIRA, H.S.; PAULINO, H.B.; SOUZA, E.D. produção de fitomassa de diferentes espécies de cobertura e suas alterações na atividade microbiana de solo de cerrado. **Bragantia**, Campinas, v.67, n.2, p.455-462, 2008 a.

CARNEIRO, M. A. C.; MELO, L. B.C.; 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, v. 38, n. 4, p. 276-283, 2008 b.

CARVALHO, A.M.; BUSTAMANTE, M.M.C.; SOUSA JUNIOR, J.G. A.; VIVALDI, L.J. Decomposição de resíduos vegetais em Latossolo sob cultivo de milho e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.2831-2838, 2008.

CARVALHO, A.M.; BUSTAMANTE, M.M.C.; ALCÂNTARA, F.A.; RESCK, I.S.; LEMOS, S.S. Characterization by solid-state CPMAS ¹³C NMR spectroscopy of decomposing plant residues in convention land no-tillage systems in central Brazil. **Soil and Tillage Research**, v.102, p.144-150, 2009.

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

CARVALHO, J.L.N.; RAUCCI, G.S.; CERRI, C.E.P; BERNOUX, M.; FEIGL, B.J.; WRUCK, F. J.; CERRI, C. C. Impact of pasture, agriculture and crop-livestock systems on soil C stocks in Brazil. **Soil Tillage Research**, 110, 175-186, 2010.

CARVALHO, A.M.; SOUZA, L.L.P.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; ALVES, P.C.A.C.; VIVALDI, L.J. Cover plants with potential use for crop-livestock integrated systems in the Cerrado region. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.1200-1205, 2011.

CARVALHO, P. C. F.; ANGHINONI, I.; KUNRATH, T. R.; MARTINS, A, P.; COSTA, S. E. V. G. A.; SILVA, F. S.; ASSMANN, J. M.; LOPES, M. L. T.; PFEIFER, F. M.; CONTE, O.; SOUZA, E. D. Integração Soja-Bovinos de Corte no Sul do Brasil. **Boletim Técnico**. Faculdade de Agronomia, Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia, Departamento de Solos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. p.60, 2011.

CARVALHO, A.M.; COELHO, M.C.; DANTAS, R.A.; FONSECA, O.P.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; FIGUEIREDO, C.C. Chemical composition of cover plants and its effect on maize yield in no-tillage systems in the Brazilian savanna. **Crop Pasture Science**, v.63, p.1075-1081, 2012.

CARVALHO, A.M.; COSER, T.R., REIN, T.A., DANTAS, R.A., SILVA, R.R., SOUZA, K.W. Manejo de plantas de cobertura na floração e na maturação fisiológica e seu efeito na produtividade do milho. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.50, n.7, p.551-561, 2015.

CATTELAN, A.J.; VIDOR, C. Flutuações na biomassa, atividade e população microbiana do solo, em função de variações ambientais. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 14, p. 133-142, 1990.

CHIODEROLI, C.A.;MELLO,L.M.M; GRIGOLLI, P.J; FURLANI C.E.A; SILVA, J.O.R; CESARIN, A.L. Atributos físicos do solo, produtividade de soja em sistema de consórcio milho, braquiária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**. v.16, p.37-43,2012.

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

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos - segundo levantamento- safra 2013/2014**. Brasília: Conab, 2017. v.4, n.7. Disponível em: <http://www.conab.gov.br> Acesso em: 07/05/2017.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos - segundo levantamento- safra 2013/2014**. Brasília: Conab, 2013. v.1, n.2, 66p.<http://www.conab.gov.br> .

CONCEIÇÃO, P.C.; AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v 29 p. 777-88, 2005.

COSER, T.R.C.; RAMOS, M.L.G.; FIGUEIREDO, C.C.; CARVALHO, A.M.; CAVALCANTE, E.; MOREIRA, M.K.R.; ARAÚJO, P.S.M.; OLIVEIRA, S.A. Soil microbiological properties and available nitrogen for corn in monoculture and intercropped with forage, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, n.9, p.1660-1667. 2016.

COSTA, N.R.; ANDREOTTI, M.; FERNANDES, J.C.; CAVASANO, F.A.; ULIAN, N.A.; PARIZ, C.M.; SANTOS, F.G. Acúmulo de nutrientes e decomposição da palhada de braquiárias em função do manejo de corte e produção do milho em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência Agrônômica**, v. 9, p.166-73, 2014.

COSTA, A. R. Perdas gasosas de nitrogênio e atributos microbiológicos do solo em pastagens após aplicação de urina e fezes de bovinos. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 92 p. **Tese de Doutorado**, 2015.

COSTA, N.R.; ANDREOTTI, M.; LOPES, K.S.M.; YOKOBATAKE, K.L.; FERREIRA, J.P.; PARIZ, C.M.; BONINI, C.S.B.;LONGHINI, V.Z. Atributos do Solo e Acúmulo de Carbono na Integração Lavoura-Pecuária em Sistema Plantio Direto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 39, p.852-863, 2015.

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

DAROLT, M.R. Princípios para implantação e manutenção do sistema. In: DAROLT, M.R. **Plantio direto**: pequena propriedade sustentável. Londrina: IAPAR, p. 16-45, 1998.

DE OLIVEIRA, I. J. Sustentabilidade de sistemas produtivos agrários em paisagens do cerrado: uma análise no município de Jataí (GO). **Terra Livre**, v. 2, p. 139-159, 2015.

DUDA, G.P.; GUERRA, J.G.M.; MONTEIRO, M.T.; DE-POLLI, H.; TEIXEIRA, M.G. Perennial herbaceous legumes as live soil mulches and their effects on C, N and P of the microbial biomass. **Scientia Agricola**, v. 60, p. 139-47, 2003.

EMPRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação dos solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa CNPS, p. 306, 2006.

EO, J; PARKB, K.C; KIMA, M.H. Plant-specific effects of sunn hemp (*Crotalaria juncea*) and sudex (*Sorghum bicolor* x *Sorghum bicolor* var. *sudanense*) on the abundance and composition of soil microbial community. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, p. 86-93, 2015.

ESPINDOLA, J.A.A.; GUERRA, J.G.M.; ALMEIDA, D.L.; TEIXEIRA, M.G.; URQUIAGA, S. Decomposição e liberação de nutrientes acumulados em leguminosas herbáceas perenes consorciadas com bananeira. **Revista Brasileira Ciências do Solo**, p.321-328, 2006.

FEBRAPDP - **Federação Brasileira de Plantio Direto e Irrigação**, disponível em: <http://febrapdp.org.br/plantio-direto-o-que-e> Acesso em: 11/03/2017.

FOLEY, J. A. et al. Solutions for a cultivated planet. **Nature**, v. 478, p. 337-342, 2011.

FLORES, J. P. C; ANGHINONI, I; CASSOL, L.C; CARVALHO, P.C.F; LEITE, J.G.D.B; FRAGA, T.I. Atributos físicos do solo, rendimento de soja em sistema plantio direto em integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 31, p. 771-80, 2007.

FOLONI, J.S. S.; CATUCHI, T. A.; BARBOSA, A. M.; CALONEGO, J. C.; TIRITAN, C. S. Acúmulo de nutrientes e relação C/N em diferentes estádios fenológicos do milho submetido à adubação nitrogenada. **Revista agroambiente**, v. 10, n.1, p. 1-9, 2016.

FONSECA, G. C.; CARNEIRO, M. A. C.; DA COSTA, A. R.; DE OLIVEIRA, G. C.; FRANCHINI, J.C.; BALBINOT JUNIOR, A.A.; SICHIERI, F.R.; DEBIASI, H.; CONTE, O. Yield of soybean, pasture and wood in integrated crop-livestock-forest system in Northwestern Paraná state, Brazil. **Revista Ciência Agrônômica**, v.45, p.1006-1013, 2007.

FRANCHINI, J.C.; CRISPINO, C.C.; SOUZA, R.A.; TORRES, E.; HUNGRIA, M., Microbiological parameters as indicators of soil quality under various tillage and

croprotection systems in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v.92, p. 18-29, 2007.

GIONGO, V.; MENDES, A. M. S.; CUNHA, T. J. F.; GALVÃO, S. R. S. Decomposição e liberação de nutrientes de coquetéis vegetais para utilização no semiárido brasileiro. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 3, p. 611- 618, 2011.

GOMES JUNIOR, F. G.; SÁ, M. E.; VALÉRIO FILHO, W. V. Nitrogênio no feijoeiro em sistema plantio direto sobre gramíneas. **Acta Scientiarum: Agronomy**, Maringá, v. 30, n. 3, p. 387-395, jul./set. 2008.

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 Ciências Solo**, v.36, p. 909-20, 2012.

HENTZ, P.; CARVALHO, N.L.; LUZ, L.V.; BARCELLOS, A.L.; Ciclagem de Nitrogênio em Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária. **Ciência e Natura**, v. 36 Ed. Especial II, p. 663-676, 2014.

HOLE, D.G., PERKINS, A.J., WILSON, J.D., ALEXANDER, I.H., GRICE, F., EVANS, A.D. Does organic farming benefit biodiversity? **Biological Conservation**.v.122, p. 113–130, 2005.

HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J. C.; BRANDÃO-JUNIOR, O.; KASCHUK, G.; SOUZA, R. A. Soil microbial activity and crop sustainability in a longterm experiment with three soil-tillage and two crop-rotation systems. **Applied Soil Ecology**, v. 42, n. 3, p. 288-296, 2009.

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento sistemático da produção agrícola**. 2014. Disponível em:
<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/default.shtm>
Acesso em: 10 nov. 2015.

JAKELAITIS, A.; SILVA, A. A; SANTOS, A. A, VIVIAN, R. Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 38, n. 2, p. 118-127, 2008.

JARVIS, P.; REY, A.; PETSİKOS, C.; WINGATE, L.; RAYMENT, M.; PEREIRA, J.; BANZA, J.; DAVID, J.; MIGLIETTA, F.; BORGHETTI, M.; MANCA, G.; VALENTINI, R. Drying and wetting of Mediterranean soils stimulates decomposition and carbon dioxide emission: the “Birch effect”. **Tree Physiology**, v.27, p.929-940, 2007.

JENKINSON, D. S.; LADD, J. N. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In: PAUL, E. A. & LADD, J. N. (ed.). **Soil Biochemistry**, New York: Marcel Dekker, p. 415- 471, 1981.

- KASCHUK, G.; ALBERTON, O.; HUNGRIA, M. Quantifying effects of different agricultural land uses on soil microbial biomass and activity in Brazilian biomes: inferences to improve soil quality. **Plant Soil**, v. 338 p. 467-481, 2011.
- KLUTHCOUSKI, J.; AIDAR, H.; COBUCCI, T. Opções e vantagens da Integração Lavoura-Pecuária e a produção de forragens na entressafra. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 28, n. 240, p. 16-29, set./out. 2007.
- KONG, A. Y. Y.; HRISTOVA, K.; SCOWB, K. M.; SIX, J. Impacts of different N management regimes on nitrifier and denitrifier communities and N cycling in soil microenvironments. **Soil Biology e Biochemistry**, n. 42, p. 1523-1533, 2010.
- LANGE, A.; CARVALHO, J. L. N.; DAMIN, V.; CRUZ, J. C.; MARQUES, J. J. Alterações em atributos do solo decorrentes da aplicação de nitrogênio e palha em sistema semeadura direta na cultura do milho. **Ciência Rural**, v.36, p.460-467, 2006.
- LEITE, L.F.C.; ARRUDA, F.P.; COSTA, C.N.; FERREIRA, J.S.; HOLANDA, M.R.N. Qualidade química do solo edinâmica de carbono sob monocultivo e consórcio de macaúba e pastagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, p.1257-1263, 2013.
- LEITE, L. F. C.; MACIEL, G. A.; ARAÚJO, A. S. F. Agricultura conservacionista no Brasil. 1ª edição. Brasília DF. Embrapa Informação tecnológica, 598p. 2014.
- LIU, Z., FU, B., ZHENG, X., LIU, G., Plant biomass, soil water content and soil N: Pratio regulating soil microbial functional diversity in a temperate steppe: aregional scale study. **Soil Biol. Biochem.** v.42, p. 445–450, 2014.
- LOPES, A.A. de C.; SOUSA, D.M.G. de; CHAER, G.M.; REIS JÚNIOR, F.B. dos; GOEDERT, W.J.; MENDES, I. de C. Interpretation of microbial soil indicators as a function of crop yield and organic carbon. **Soil Science Society of America Journal**, 2013.
- LOURENTE, E. R. P.; MERCANTE, F. M.; ALOVISI, A. M. T.; GOMES, C. F.; GASPARINI, A. S.; NUNES, C. M. Atributos microbiológicos, químicos e físicos de solo sob diferentes sistemas de manejo e condições de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 20- 28, 2011.
- MACHADO, P.O.L.A; SILVA, C.A. Soil management under no-tillage systems in the tropics with special reference to Brazil. **Nutr. Cycling Agroecosyst.**,v.61, p. 119-130, 2001.
- MACHADO, L. A. Z. ; ASSIS, P. G. G de. Produção de palha e forragens pó espécies anuais e perenes em sucessão à soja. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.45, n.4, p.415-422, 2010.

MACHADO, M.; ALVES, E.R.; CADES, M.; PEREIRA, E.C.F.; SCHILINDWEIN, A.A.; MARCOLAN, A.L. Respiração basal do solo influenciada por diferentes sistemas de preparo do solo e sucessão de culturas. **XXXIII Congresso Brasileiro de Ciências do solo**, Resumo expandido, Uberlândia-MG, 2011.

MARCHÃO, R.L., BECQUER, T., BRUNET, D., BALBINO, L.C., VILELA, L., BROSSARD, M. Carbon and nitrogen stocks in a Brazilian clayey Oxisol: 13-year effects of integrated crop–livestock management systems. **Soil and Tillage Research**, V. 103, p. 442–450, 2009.

MATIAS, M.C.B.S.; SALVIANO, A.A.C.; LEITE, L.F.C.; ARAÚJO, A.S.F.; Biomassa microbiana e estoque de C e N do solo em diferentes sistemas de manejo, no Cerrado do Estado do Piauí. **Acta Sci.**v: 31, p.517-521, 2009.

MENDONÇA, V.Z;MELLO,L.M.M; ANDREOTTI. M;PEREIRA,F.C.B.L; LIMA, R.C; VALÉRIO FILHO, W.V; YANO, E.H. Avaliação dos atributos físicos do solo em consórcio de forrageiras, milho em sucessão com soja em região de cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 251-9, 2013.

MERCANTE, F. M.; SILVA, R. F.; FRANCELINO, C. S.F.; CAVALHEIRO, J. C. T.; OTSUBO, A.A. Biomassa microbiana, em um Argissolo Vermelho, em diferentes coberturas vegetais, em área cultivada com mandioca. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 34, n. 4, p. 479-485, 2008.

MINGOTTE, F. L. C.; YADA, M. M.; JARDIM, C. A.; FIORENTIN, C. F.; LEMOS, L. B.; FORNASIERI FILHO, D. Sistemas de cultivo antecessores e doses de nitrogênio em cobertura no feijoeiro em plantio direto. **Bioscience Journal** , Uberlandia, v. 30, p. 696-706, 2014.

MODA, R.L.; SANTOS, C.L.R.; FLORES,R.A.; BORGES, B.M.M.N.; ANDRIOLI, I.; PRADO, R.M.; Resposta do milho cultivado em sistema de plantio direto à aplicação de doses de nitrogênio e cultivo de plantas de cobertura em pré-safra. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 30, p. 178-187, 2014.

NOGUEIRA, M.S.; ALBINO, U.B.; BRANDAO-JUNIOR, O.; BRAUN, G.; CRUZ, M.F.; DIAS, B.A.; DUARTE, R.T.D.; GIOPO, N.M.R.; MENNA, P.; ORLANDI, J.M.; RAIMAM, M.P.; RAMPAZO, L.G.L.; SANTOS, M.A.; SILVA, M.E.Z.; VIEIRA, F.P.; TOREZAN, J.M.D.; HUNGRIA, M.; ANDRADE, G. Promising indicators for assessment of agroecosystems alteration among natural, reforested and agricultural land use in southern Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.115, p.237-247, 2006.

NUNES, U.R., JÚNIOR, V.C.A., SILVA, E.B., SANTOS, N.F., COSTA, H.A.O., FERREIRA, C.A. Produção de palhada de plantas de cobertura e rendimento do feijão em plantio direto. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.41, n.6, p.943-948, jun. 2006.

OLIVEIRA, B. S. Atributos físicos e biológicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, na Amazônia meridional. **Dissertação** (Mestrado em Ambiente e Sistema de Produção Agrícola) – Universidade do Estado de Mato Grosso, Tangará da Serra, 2013.

OLIVEIRA, W. R. D.; RAMOS, M. L. G.; CARVALHO, A. M.; COSER, T. R.; SILVA, A. M. M.; LACERDA, M. M.; SOUZA, K. W.; MARCHÃO, R. L.; VILELA, L.; PULROLNIK, K. Dynamics of soil microbiological attributes under integrated production systems, continuous pasture, and native Cerrado. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 51, n.9, 2016.

ORTS, K.; VANLAUWE, B.; MERCKX, R. Cation Exchange capacities of soil organic matter fractions in a Ferri Lixisol with different organic matter inputs. **Agric. Ecosyst. Environ.**,v.100, p.161-171, 2003.

PACHECO, L.P.; LEANDRO, W.M.; MACHADO, P.L.O.de A.; ASSIS, R.L. de; COBUCCI, T.; MADARI, B.E.;PETTER, F.A. Produção de fitomassa e acúmulo e liberação de nutrientes por plantas de cobertura na safrinha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.17- 25, 2011.

PARIZ, C.M; ANDREOTTI, M; BUZETTI, S; BERGAMASCHINE, A.F.ULIAN NA, FURLAN, L.C, MEIRELLES, P.R.L; CAVASANO, F.A. Straw decomposition of nitrogen-fertilized grasses intercropped with irrigated maize in an integrated crop-livestock system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 2029-37, 2011.

PEREZ, K.S.S.; RAMOS, M.L.G.; MCMANUS, C. Carbono da biomassa microbiana em solo cultivado com soja sob diferentes sistemas de manejo nos Cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n 6, p. 567-573, 2001.

PEREZ, K.S.S.; RAMOS, M.L.G.; McMANUS, C. Carbono da biomassa microbiana em solo cultivado com soja sob diferentes sistemas de manejo nos cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.567-573, 2004.

RABELO, S. C. Avaliação do desempenho do pré-tratamento com perióxido de hidrogênio alcalino e hidrólise enzimática de bagaço de cana-de-açúcar. **Dissertação de mestrado** em engenharia química. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 150 p. 2007.

RHEINHEIMER, D.S.; ANGHINONI, I.;KAMINSKI,J. Depleção do fósforo inorgânico de diferentes frações provocada pela extração sucessiva com resina em diferentes solos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.345-354, 2000.

RIBEIRO, R. L. P;. Efeitos de plantas de cobertura e da adubação nitrogenada nas frações da matéria orgânica do solo e na produtividade do milho. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 53 p. **Dissertação de Mestrado**, 2016.

- ROSA, D. M.; NÓBREGA, L. H. P.; LIMA, G. P.; MAULI, M. M. Desempenho da cultura do milho implantada sobre resíduos culturais de leguminosas de verão em sistema plantio direto. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 4, p. 1287-1296, 2011.
- ROSSI, Q.C.; PEREIRA, G.M., GIÁCOMO, S.G.; BETTA, M.; POLIDORO, C.J. Decomposição e liberação de nutrientes da palhada de braquiária, sorgo e soja em áreas de plantio direto no cerrado goiano. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 4, p. 1523-1534, 2013.
- ROSOLEM, C.A.; WERLE, R.; GARCIA, R. A. Nitrogen washing from C3 and C4 cover grasses residues by rain. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 6, p. 1899-1905, 2010.
- SANO, E.E., ROSA, R., BRITO, J.L.S., FERREIRA, L.G. Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil. **Environ. Monit. Assess.** v.166, p.113–124, 2010.
- SANO, E.E.; ROSA, R.; BRITO, J.L.; FERREIRA, L.G. Mapeamento semidetalhado do uso da terra do bioma Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, p. 153-156, 2008.
- SANTOS, H.P., SPERA S.T., TOMM, G.O., KOCHANN, R.A., ÁVILA, A. Efeito de sistemas de manejo de solo, de rotação de culturas na fertilidade do solo, após vinte anos. **Bragantia**.v.67, p.441-54, 2008.
- SANTOS, H.P., FONTANELI, R.S., SPERA, S.T., DREON, G. Fertilidade, teor de matéria orgânica do solo em sistemas de produção com integração lavoura, pecuária sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.6, p.474-482, 2011.
- SARAIVA, F.M.; DUBEUX JUNIOR, J.C.B.; LIRA, M. de A.; MELLO, A.C.L. de; SANTOS, M.V.F.; CABRAL, F. de A.; TEIXEIRA, V.I. Root development and soil carbon stocks of tropical pastures managed under different grazing intensities. **Tropical Grasslands – Forrajes Tropicales**, v.2, p.254-261, 2014.
- SILVA, J.E. e RESCK, D.V.S. Matéria orgânica do solo. In: VARGAS, M.A.T. e HUNGRIA, M., eds. **Biologia dos solos dos Cerrados**. Planaltina, Embrapa - CPAC, p.467-524, 1997.
- SILVA, E.C; MURAOKA, T.; BUZETTI, S.; TRIVELIN, P.C.O. Manejo de nitrogênio no milho sob plantio direto com diferentes plantas de cobertura, em Latossolo vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.477- 486, 2006.
- SILVA, A.A.; GALON, L.; FERREIRA, F.A.; TIRONI, S.P.; FERREIRA, E.A.; SILVA, A.F.; ASPIAZÚ, I.; AGNESI, E.L. Sistema de Plantio Direto na Palhada e seu impacto na agricultura brasileira. **Revista Ceres**, v.56, p. 496-506, 2009.

- SILVA, A.N., FIGUEIREDO, C.C., CARVALHO, A.M., SOARES, D.S., SANTOS, D.C.R., SILVA, V.G., Effects of cover crops on the physical protection of organic matter and soil aggregation. **Australian Journal of Crop Science**. AJCS 10(12), p.1623-1629, 2016.
- SIQUEIRA-NETO, M.; SCOPEL, E.; CORBEELS, M.; CARDOSO, A.N.; DOUZET, J.-M.; FELLER, C.; PICCOLO, M. de C.; CERRI, C.C.; BERNOUX, M. Soil carbon stocks under no-tillage mulch-based cropping systems in the Brazilian Cerrado: An on-farm synchronic assessment. **Soil and Tillage Research**, v.110, p.187-195, 2010.
- SMITH, P. Malthus is still wrong: we can feed a world of 9–10 billion, but only by reducing food demand. **Proceedings of the Nutrition Society**. v. 74, p. 187-190, 2015.
- SOUZA, E.D.; COSTA, S.E.V.G.A.; LIMA, C.V.S.; ANGHINONI, I.; EGON JOSÉ MEURER, J.E.; CARVALHO, P.C.F. Carbono orgânico e fósforo microbiano em sistemas de integração agricultura-pecuária submetidos a intensidades de pastejo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1273- 1282, 2008.
- SOUZA, E.D.; COSTA, S.E.V.G.A.; ANGHINONI, I.; LIMA, C.V.S.; CARVALHO, P.C.F.; MARTINS, A.P. Biomassa microbiana do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, 34:79-88, 2010.
- SOUZA, E.D.; CARNEIRO, M.A.C.; PAULINO, H.B.; RIBEIRO, D.O.; BAYER, C.; ROTTA, L.A. Matéria orgânica e agregação do solo após conversão de “campos de murundus” em sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.51, n.9, p.1194-1202, 2016.
- STEINER, F.; PIVETTA, L. A.; CASTOLDI, G.; COSTA, M. S. S. M.; COSTA, L. A. M. Carbono orgânico e carbono residual do solo em sistema de plantio direto, submetido a diferentes manejos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.6, p.401-408, 2011.
- STIEVEN, A.C.; OLIVEIRA, D.A.; SANTOS, J.O.; WRUCK, F.J.; CAMPOS, D.T. da S. Impacts of integrated crop-livestockforest on microbiological indicators of soil. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.9, p.53-58, 2014.
- TALBOT, J.M.; TRESEDER, K.K. Interactions among lignin, cellulose, and nitrogen drive litter chemistry-decay relationship. **Ecology**, v.93, p.345-354, 2012.
- TEJADA, M.; GONZALEZ, J.L.; GARCIA-MARTINEZ, A.M.; PARRADO, J. Effects of different green manures on soil biological properties and maize yield. **Bioresour. Technol.** 99, 1758–1767, 2008.
- TISDALL, J. A.; OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Journal of Soil Science**, v. 33, n. 1, p. 141-163, 1982. v.77, p.461-472, 1982.

VERAS, M. S., RAMOS, M.L.G., OLIVEIRA, D.N.S., FIGUEIREDO, C.C., CARVALHO, A.M., PULROLNIK, K., SOUZA, K.W. Cover Crops and Nitrogen Fertilization Effects on Nitrogen Soil Fractions under Corn Cultivation in a no-Tillage System. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.40: e: 0150092, 2016.

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**.v.35, p.213-223, 2011.

VILELA, L., JUNIOR, G.B.M., MACEDO, M.C.M., MARCHÃO, R.L., JÚNIOR, R.G., PULROLNIK, K., MACIEL, G.A., Sistemas de integração lavoura-pecuária na região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.1127-1138, 2011.

XAVIER, F.A.S.; MAIA, S.M.F.; OLIVEIRA, T.S.; MENDONÇA, E.S. Biomassa microbiana e matéria orgânica leve em solos sob sistemas agrícolas orgânico e convencional na Chapada da Ibiapaba– CE. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.247-258, 2006.

WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, p.487-494, 2005.

WHITE, C.M., WEIL, R.R., Forage radish and cereal rye cover crop effects on mycorrhizal fungus colonization of maize roots. **Plant Soil**, p. 507–521, 2010.

WUTKE, E.B.; CALEGARI, A.; WILDNER, L. do P. Espécies de adubos verdes e plantas de cobertura e recomendações para seu uso. In: LIMA FILHO, O.F. de; AMBROSANO, E.J.; ROSSI, F.; CARLOS, J.A.D. (Ed.). **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática**. Brasília: Embrapa, v.1, p.59- 168, 2014.

10. APÊNDICES

Apêndice 1. Concentração de macronutrientes na época 1.

Concentrações de macronutrientes (g/kg) na palhada dos tratamentos avaliados na Época 1.

Tratamentos ⁽¹⁾	Época 1				
	Ca	K	Mg	P	S
PDM/G	2,94 (±0,31)	5,09 (±1,45)	0,92 (±0,04)	0,40 (±0,07)	0,43 (±0,02)
PDS/S	7,83 (±0,50)	5,27(±2,57)	1,99 (±0,18)	0,58 (±0,05)	0,57 (±0,03)
CN/A	8,80 (±0,59)	0,86 (±0,22)	1,05 (±0,20)	0,37 (±0,07)	0,78 (±0,08)
PDM/B	2,65 (±0,09)	2,49 (±0,05)	0,80 (±0,06)	0,38 (±0,00)	0,39 (±0,01)
PDM/M	2,67 (±0,60)	2,63 (±0,07)	0,85 (±0,09)	0,40 (±0,04)	0,39 (±0,04)
PDM/F	3,14 (±0,12)	2,18 (±0,52)	0,86 (±0,04)	0,35 (±0,02)	0,39 (±0,01)
CN/B	6,41 (±1,50)	0,67 (±0,03)	1,09 (±0,09)	0,32 (±0,02)	0,79 (±0,11)
PDS/MB	10,93 (±1,03)	12,05 (±0,64)	2,01 (±1,10)	1,82 (±0,32)	0,90 (±0,17)
PDS/ILP	7,99 (±0,97)	8,78 (±0,78)	1,78 (±0,23)	0,92 (±0,08)	0,63 (±0,04)
CN/C	7,23 (±1,06)	1,22 (±0,36)	0,36 (±0,96)	0,45 (±0,05)	0,79 (±0,06)

¹PDM/G = plantio direto com safra de milho e safrinha com guandu; PDS/S = plantio direto com safra de soja e safrinha com sorgo; PDM/B = sucessão anual milho/braquiária; PDM/M = sucessão anual milho/milheto; PDM/F = sucessão anual milho/feijão-bravo-do-ceará; PDS/MB = sucessão soja/milho+braquiária; PDS/ILP = integração lavoura-pecuária.

Apêndice 2. Concentrações de macronutrientes na época 2.

Concentrações de macronutrientes (g/kg) nos resíduos vegetais dos tratamentos avaliados na Época 2.

Tratamentos ⁽¹⁾	Época 2				
	Ca	K	Mg	P	S
PDM/G	3,91 (±0,72)	4,40 (±2,27)	0,76 (±0,10)	0,66 (±0,14)	0,53 (±0,11)
PDS/S	4,39 (±1,13)	5,88 (±3,25)	1,39 (±0,77)	0,65 (±0,14)	0,50 (±0,07)
CN/A	6,61 (±1,21)	0,75 (±0,10)	0,97 (±0,05)	0,32 (±0,08)	0,73 (0,14)
PDM/B	4,81 (±0,15)	16,49 (±1,44)	1,31 (±0,14)	0,48 (±0,01)	0,80 (±0,11)
PDM/M	3,45 (±0,45)	16,64 (±0,65)	1,36 (±0,07)	1,03 (±0,14)	0,94 (±0,08)
PDM/F	12,24 (±0,38)	6,68 (±0,26)	1,51 (±0,06)	0,52 (±0,04)	0,81 (±0,03)
PDS/MB (MI)	2,92 (±0,78)	22,58 (±3,16)	0,95 (±0,23)	0,77 (±0,15)	0,60 (±0,15)
PDS/ILP (MI)	3,21 (±0,57)	18,95 (±4,09)	1,45 (±0,22)	0,68 (±0,09)	0,58 (±0,08)
PDS/MB (BRA)	4,69 (±0,20)	26,51 (±1,62)	1,77 (±0,12)	0,72 (±0,04)	0,87 (±0,06)
PDS/ILP (BRA)	3,05 (±0,19)	17,64 (±0,99)	1,40 (±0,03)	0,70 (±0,02)	0,66 (±0,01)
CN/C	3,32 (±0,21)	1,87 (±0,35)	0,63 (±0,05)	0,39 (±0,06)	0,32 (±0,02)

¹PDM/G = plantio direto com safra de milho e safrinha com guandu; PDS/S = plantio direto com safra de soja e safrinha com sorgo; PDM/B = sucessão anual milho/braquiária; PDM/M = sucessão anual milho/milheto; PDM/F = sucessão anual milho/feijão-bravo-do-ceará; PDS/MB (MI) = sucessão soja/milho+braquiária; PDS/ILP (MI) = integração lavoura-pecuária; PDS/MB (BRA) = sucessão soja/milho+braquiária; PDS/ILP (BRA) = integração lavoura-pecuária.

11. ANEXOS

Anexo 1. Histórico de fertilização utilizadas em 25 anos de experimento nos diferentes sistemas.

Anos	Calcário	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Micros ¹	Gesso ²	
	..t/ha...	.....kg/ha.....	.....kg/ha.....	.....kg/ha.....	.....kg/ha.....	..t/ha..
PDS/MB							
1991	5,8	-	98	98	63	2,8	
1992	-	-	100	100	-	-	
1993	-	80	100	60	2*	-	
1994	-	-	100	100	-	-	
1995	-	80	100	100	22	-	
1996	-	-	90	90	-	-	
1997	-	70	102	61	1,6*	-	
1998	-	-	83	83	1,2**	-	
1999	1,7	-	100	100	-	-	
2000	-	5	50	45	-	-	
2001	-	-	100	100	-	-	
2002							
2003		-	100	100	-	-	
2004	-	10	100	90	-	-	
2005		63	71	71	-	-	
2006	1,1	-	103	103	-	-	
2007							
2008		20	150	80			
2009							
2010		20	150	80			
2011 -							
2012		95	125	100			
2013	2,0		100	100		1,5	
2014		101,8	156	83,2			
2014			104	104			
2015 -		125,7	99	52,8			
2015 -			100	100			
2016							
Total	0	10,6	544,8	2078	1744,2	85	4,3
Anos	Calcário	N	P₂O₅	K₂O	Micros¹	Gesso²	
	..t/ha...	.....kg/ha.....	.....kg/ha.....	.....kg/ha.....	.....kg/ha.....	..t/ha..
PDS/ILP							
1991	5,8	-	98	98	63	2,8	
1992	-	-	100	100	-	-	
1993	-	80	100	60	2*	-	
1994	-	-	100	100	-	-	
1995	-	-	-	-	-	-	
1996	-	-	-	-	-	-	
1997	-	-	20	20	-	-	
1998	-	-	-	-	-	-	
1999	1,7	-	100	100	-	-	
2000	-	5	50	45	-	-	
2001	-	-	100	100	-	-	
2002							

2003			-	100	100	-	
2004	-	-	-	-	-	-	-
2005	-	-	-	-	-	-	-
2006	-	1,1	-	-	-	-	-
2007							
2008			20	150	80		
2009							
2010			20	150	80		
2011 -							
2012			44	36			
2013			71				
2014		2,0		100	100		1,5
2014			101,8	156	83,2		
2015 -				104	104		
2015 -			125,7	99	52,8		
2016				100	100		
2016				15			
Total	0	10,6	341,8	1204	983	63	4,3

Anexo 2. Histórico de cultura utilizadas em 25 anos de experimento nos diferentes sistemas

Ano	Integração Lavoura-Pecuária		Lavoura contínua		
	Agrícola	Safra	Segunda safra	Safra	Segunda safra
1991	Soja			Soja cv. Doko	-
1992	Soja			Soja cv. Siriema	-
1993	Milho			Milho BR 2001	-
1994	Soja			Soja cv. Savana	-
1995		Andropogon		Milho cv. BR 205	-
1996		Andropogon		Soja cv. Savana	-
1997		Andropogon		Milho cv. BR 205	-
1998		Andropogon		Soja cv. Celeste	-
1999	Soja			Soja cv. Milena	-
2000	Milheto			Milheto cv. CPAC	-
2001	Soja			Soja cv. Nina	-
2002	Milheto			Milheto cv. CPAC	-
2003	Soja + Marandu			Soja cv. Raimunda	-
2004		Marandu		Soja cv. Emgopa 313	-

2005		Marandu		Sorgo BR 304	-
2006		Marandu		Soja cv. Valiosa RR	-
2007	Soja cv. Valiosa RR			Soja cv. Valiosa RR	-
2008	Milho BRS 1010			Milho BRS 1010	-
2009	Soja cv. Valiosa RR			Soja cv. Valiosa RR	-
2010	Milho BRS 1030+Piatã			Milho BRS 1030	-
2011			Piatã	Soja cv. Valiosa RR	-
2012			Piatã	Milho PL 1335	-
2013	Soja BRS 7580		Piatã	Soja cv. BRS 7580	-
2014	Soja Msoy 7111	Sorgo BRS 332+Piatã		Soja cv. M 7110	Sorgo BRS 332+Piatã
2015	Soja BRS 8180 RR	Milho 30S31 + Paiaguás		Soja BRS 8180 RR	Milho 30S31 + Paiaguás
2016			Capim Tamani (T2)**		Capim Tamani (T2)**
