FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA

NÚCLEO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO REGIONAL E MEIO AMBIENTE - PGDRA

INDICADORES DE QUALIDADE EM UM LATOSSOLO SOB DIFERENTES USOS E MANEJOS EM RONDÔNIA

ELAINE COSMA FIORELLI PEREIRA

Porto Velho (RO)

2017

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA

NÚCLEO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO REGIONAL E MEIO AMBIENTE - PGDRA

INDICADORES DE QUALIDADE EM UM LATOSSOLO SOB DIFERENTES USOS E MANEJOS EM RONDÔNIA

ELAINE COSMA FIORELLI PEREIRA

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente, Área de Concentração em Desenvolvimento Sustentável & Diagnóstico Ambiental, Linha de Pesquisa Ambiente, Saúde & Sustentabilidade.

Orientador: Prof. Dr. Jairo André Schlindwein
Coorientadores: Dr. Alexandre M. Abdão dos Passos
Dr. Alaerto Luiz Marcolan

Porto Velho (RO)

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Fundação Universidade Federal de Rondônia
Grada automaticamente mediante informações fornecidas pela autora

P436i Pereira, Elaine Cosma Fiorelli.

Indicadores de qualidade em um latossolo sob diferentes usos e manejos em Rondônia / Elaine Cosma Fiorelli. – Porto Velho, RO, 2017.

131f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Jairo André Schlindwein
Coorientadores: Dr. Alexandre M. Abdão dos Passos
Dr. Alaerto Luiz Marcolan

Tese (Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente)

1. Biomassa microbiana 2. Agricultura conservacionista 3. Sustentabilidade – solo I. Schlindwein, Jairo André.

CDU 504:573

Bibliotecária Ozelina do Carmo de Carvalho Saldanha CRB 11/486

INDICADORES DE QUALIDADE DE UM LATOSSOLO SOB DIFERENTES USOS E MANEJOS EM RONDÔNIA

Comissão Examinadora

Dr. Jairo André Schlindwein
Orientador
Fundação Universidade Federal de Rondônia

Dr. Alaerto Luiz Marcolan
Coorientador
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Dra. Ana Karina Dias Salman
Membro Titular
Fundação Universidade Federal de Rondônia/Embrapa/RO

Elaine A. Delarmelinda

Dra. Elaine Almeida Delarmelinda
Membro Titular
Fundação Universidade Federal de Rondônia

Marcela Campanharo

Dra. Marcela Campanharo
Membro Titular
Fundação Universidade Federal de Rondônia

Porto Velho, 30 de outubro de 2017.

Resultado: Aprovada

A um plano de vida ... o começo de tudo!

Ao meu esposo Luciano ... a base de tudo!

Aos meus filhos Gabriel, Lucas e Bruno ... nossa razão de tudo!

DEDICO

"Makes me see life on the sweetest and softest side".

AGRADECIMENTOS

A Deus, por sempre me dar força, proteção e amparo ao longo do meu caminho.

Aos meus pais Adão e Tereza, por me ensinarem a ser a pessoa que sou e pelo exemplo de que com simplicidade, honestidade e perseverança conseguimos conquistar nossas metas. Às minhas irmãs Cristiane e Fabiane, por compreenderem essa minha caminhada, pela amizade, apoio e companheirismo que só aumentam mesmo com toda distância. Amo todos vocês!

Ao meu esposo Luciano pelo apoio incondicional na realização desse sonho, por todo amor, compreensão, carinho e companheirismo. Aos meus filhos Gabriel, Lucas e Bruno … vocês são a parte mais preciosa de mim e me inspiram a ser melhor. Sou agradecida a vocês meus rapazes, por todo amor e alegria com que preenchem minha vida!

Aos anjos que Deus colocou na minha vida: Dona Avani pelo desprendimento em cuidar da nossa família, pelo apoio e carinho ao me tratar como uma filha. À Elisângela e Marcela, pelos momentos de descontração, união, amizade e carinho. Vocês sempre estarão no meu coração.

Ao meu orientador Jairo André Schlindwein, por me inspirar como exemplo de competência, honestidade e ética profissional. Sou grata pela confiança, amizade e estímulo constante.

Aos meus co-orientadores Alaerto Luíz Marcolan e Alexandre Martins Abdão dos Passos, pelas sugestões, apoio e confiança depositada em mim, que contribuíram de modo valioso para minha formação acadêmica.

Ao pesquisador Henrique Nery Cipriani pelo auxilio nas análises estatísticas dos dados.

Aos membros da banca examinadora por dedicarem seu tempo em colaborar com o trabalho.

À Universidade Federal de Rondônia e ao Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente, pela oportunidade de aprendizagem, que possibilitou meu crescimento profissional.

Aos professores do Departamento de Agronomia.

Aos meus bolsistas de iniciação científica: Aline, Caio, Marcos e Weverton.

A todos os alunos e professores que no decorrer dos anos auxiliaram nos trabalhos de campo e de laboratório.

À EMBRAPA.

A todos que, direta e indiretamente, colaboraram com este trabalho.

RESUMO

A Floresta Amazônica possui um sistema equilibrado e eficiente para a manutenção do ambiente, mesmo em áreas com solos de baixa fertilidade natural. Mudanças no uso do solo são causadas inicialmente pelo desmatamento, seguida da instalação de pastagens e posterior implantação de agricultura. A expansão da agricultura tecnificada e competitiva trouxe a crescente preocupação com a qualidade do solo devido à maneira como é efetuado o manejo nas áreas. Nesse trabalho, o objetivo foi avaliar diferentes sistemas de uso e de manejo do solo sobre os indicadores químicos e microbiológicos de qualidade do solo. O estudo foi conduzido em Rolim de Moura/RO, sob um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico em áreas com diferentes gradientes de uso do solo. Na área de agricultura foi implantado experimento com quatro sistemas de manejo do solo dispostos nas parcelas principais (33 x 21,6 m): plantio direto alternativo (PDA), plantio direto contínuo (PDC), preparo alternativo (PRA) e preparo tradicional (PRT), com diferentes combinações de sucessões de culturas nas subparcelas (11 x 5,4 m) cultivadas na safra com milho ou soja e feijão-caupi ou milho + braquiária na safrinha. Áreas de floresta secundária e pastagem de braquiária, localizadas nas proximidades da área agrícola também foram amostradas. Em cada área, amostras de solo foram coletadas nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, em dois anos consecutivos, e em duas estações do ano: no período chuvoso e seco. Nas amostras foram avaliados o carbono orgânico do solo (COS), carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração basal do solo (RBS) e os quocientes microbiano e metabólico. O solo sob manejo PDC apresenta maior COS e sob manejo PRT o menor teor. No solo sob manejo PRT o CBM, a RBS, o qMic e o qMet são maiores. A substituição da floresta por agricultura aumenta o qMet e diminui o COS, CBM e o qMic. A retirada da pastagem e introdução da agricultura aumenta o COS, a RBS e o qMet. O COS foi maior no solo sob sucessão milho/milho e o CBM na sucessão milho/caupi e milho/milho. A RBS foi maior no solo sob milho/milho e soja/milho e o qMic em milho/caupi e soja/milho. O COS foi maior na profundidade de 0-10 cm.

Palavras-chave: Biomassa microbiana. Agricultura conservacionista. Sustentabilidade do solo.

ABSTRACT

The Amazon Forest has a balanced and efficient system for the maintenance of the environment, even in areas with low natural fertility soils. Changes in land use are caused initially by deforestation, followed by the establishment of pastures and subsequent implantation of agriculture. The expansion of technified and competitive agriculture has brought increasing concern with soil quality due to the way in which management is carried out in the areas. In this work, the objective was to evaluate different systems of use and soil management on chemical and microbiological indicators of soil quality. The study was conducted in Rolim de Moura, Brazil under a dystrophic Red-Yellow Latosol in areas with different gradients of soil use. In the area of agriculture an experiment was implemented with four soil management systems arranged in the main plots (33 x 21.6 m): alternative no-tillage system (PDA), continuous no-tillage (PDC), alternative tillage (PRA) and traditional tillage (PRT), with different combinations of successions of crops in the split plot (11 x 5.4 m) grown in the corn or soybean crop and cowpea or corn + brachiaria grass. Areas of secondary forest and pasture of brachiaria, located near the agricultural area were also sampled. In each area, soil samples were collected at depths of 0-10 and 10-20 cm, in two consecutive years, and in two seasons of the year: in the rainy and dry period. Soil organic carbon (COS), microbial biomass carbon (CBM), soil basal respiration (RBS) and microbial and metabolic quotients were evaluated. The soil under PDC management presents higher COS and under PRT management the lower content. In soil under PRT or CBM management, RBS, or qMic and qMet are larger. The replacement of the forest by agriculture increases the qMet and decreases the COS, CBM and qMic. Removal of pasture and introduction of agriculture increases the COS, RBS and qMet. COS was higher in the soil under corn / corn succession and CBM in corn / cowpea and corn / corn succession. RBS was higher in the soil under corn / corn and soybean / corn and qMic in corn / cowpea and soybean / corn. The COS was greater in depth than 0-10 cm.

Keywords: Microbial biomass. Conservationist agriculture. Soil sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Distribuição da precipitação pluviométrica acumulada e temperatura média mensal durante o período experimental. Rolim de Moura/RO.....34

Figura 2 – Representação das áreas de estudo e disposição dos tratamentos. a) Área de experimentação agrícola: **PDA**: plantio direto alternativo, **PDC**: plantio direto contínuo, **PRA**: preparo alternativo, **PRT**: preparo tradicional; **M**: milho; **C**: caupi, **S**: soja; b) Floresta; c) Pastagem. Rolim de Moura/RO.....38

Figura 3. Média geral da porcentagem dos indicadores de qualidade do solo (COS - carbono orgânico do solo, CBM - carbono da biomassa microbiana, RBS - respiração basal do solo, qMic - quociente microbiano e qMet - quociente metabólico) nos diferentes usos do solo em comparação com a floresta (média das épocas e profundidades). Rolim de Moura/RO.....111

Figura 4. Média geral da porcentagem dos indicadores de qualidade do solo (COS - carbono orgânico do solo, CBM - carbono da biomassa microbiana, RBS - respiração basal do solo, qMic - quociente microbiano e qMet - quociente metabólico) nas diferentes coberturas vegetais em comparação com a floresta (média das épocas e profundidades). Rolim de Moura/RO.....113

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Atributos químicos e físicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo nas áreas de experimentação agrícola, coletado na profundidade de 0-20 cm, em Rolim de Moura/RO.....34

Tabela 2. Descrição dos sistemas de manejo do solo utilizados na área de experimentação agrícola. Rolim de Moura.....35

Tabela 3. Histórico das sucessões de culturas nos diferentes manejos do solo. Rolim de Moura.....36

Tabela 4. Teor de carbono orgânico do solo (COS g kg^{-1}solo) em Latossolo Vermelho-Amarelo sob diferentes manejos, épocas e profundidades. Rolim de Moura.....44

Tabela 5. Teor de carbono orgânico do solo (COS g.kg^{-1}solo) em Latossolo Vermelho-Amarelo, sob diferentes sistemas de manejos, sucessões de culturas e épocas de amostragem (média das profundidades). Rolim de Moura/RO.....50

Tabela 6. Teor de carbono orgânico do solo (COS g.kg^{-1}solo) na floresta e na pastagem, em Latossolo Vermelho-Amarelo, em diferentes épocas e profundidades de amostragem. Rolim de Moura/RO.....56

Tabela 7. Médias dos teores de carbono orgânico do solo (COS g kg^{-1}solo) sob diferentes manejos e sucessões de culturas, em relação ao solo da floresta e da pastagem, em diferentes épocas e profundidades. Rolim de Moura/RO.....59

Tabela 8. Teores médios de carbono da biomassa microbiana (CBM mg kg^{-1} solo) em Latossolo Vermelho-Amarelo sob diferentes sistemas de manejo do solo, épocas e profundidades. Rolim de Moura/RO.....63

Tabela 9. Médias dos teores de carbono da biomassa microbiana (CBM mg kg^{-1}solo) encontrados nos manejos agrícolas, sucessões de culturas e épocas (médias das profundidades). Rolim de Moura/RO.....68

Tabela 10. Médias dos teores de carbono da biomassa microbiana (CBM mg kg^{-1}solo) na floresta e na pastagem em diferentes épocas (médias das profundidades). Rolim de Moura/RO 72

Tabela 11. Médias dos teores de carbono da biomassa microbiana (CBM mg kg^{-1}solo) encontrados sob diferentes manejos e sucessões de culturas em relação ao solo da floresta e da pastagem, em diferentes épocas e profundidades. Rolim de Moura/RO .....……...74

Tabela 12. Carbono da respiração basal do solo (RBS mg.kg^{-1}solo $hora^{-1}$) em Latossolo Vermelho-Amarelo sob diferentes sistemas de manejo do solo e sucessão de culturas, em duas profundidades. Rolim de Moura/RO .....……..79

Tabela 13. Carbono da respiração basal do solo (RBS mg kg^{-1}solo $hora^{-1}$) em Latossolo Vermelho-Amarelo nos diferentes manejos, sucessões e épocas de amostragem (média das profundidades). Rolim de Moura/RO.....……..84

Tabela 14. Carbono da respiração basal do solo (RBS mg.kg^{-1}solo $solo^{-1}$) em Latossolo Vermelho-Amarelo na floresta e pastagem, em diferentes épocas (média das profundidades). Rolim de Moura/RO.....…….....87

Tabela 15. Médias da respiração basal do solo (RBS mg kg^{-1}solo $hora^{-1}$) sob diferentes manejos e sucessões de culturas em relação ao solo da floresta e da pastagem, em diferentes épocas e profundidades. Rolim de Moura/RO.....….....…89

Tabela 16. Quociente microbiano (qMic %) em Latossolo Vermelho-Amarelo nos diferentes manejos, sucessões de culturas e épocas de amostragem (média das profundidades). Rolim de Moura/RO.....92

Tabela 17. Quociente microbiano (qMic %) em Latossolo Vermelho- Amarelo sob diferentes sistemas de manejo do solo, épocas e profundidades. Rolim de Moura/RO.....96

Tabela 18. Quociente microbiano (qMic %) em Latossolo Vermelho-Amarelo na floresta e pastagem, em diferentes épocas (média das profundidades). Rolim de Moura/RO ……..98

Tabela 19. Médias do quociente microbiano (qMic %) encontrado sob diferentes manejos e sucessões de culturas em relação ao solo da floresta e da pastagem, em diferentes épocas e profundidades. Rolim de Moura/RO.....100

Tabela 20. Quociente metabólico (qMet mg.kg^{-1} RBS/mg.kg^{-1} CBM) em Latossolo Vermelho-Amarelo sob diferentes sistemas de manejo do solo, épocas e profundidades. Rolim de Moura/RO.....104

Tabela 21. Quociente metabólico (qMet - CO mg.kg^{-1} RBS/ mg.kg^{-1} CBM) em Latossolo Vermelho-Amarelo na floresta e pastagem, em diferentes épocas (média das profundidades). Rolim de Moura/RO.....106

Tabela 22. Médias do quociente metabólico (qMet mg.kg^{-1} RBS/ mg.kg^{-1} CBM) encontrado sob diferentes manejos e sucessões de culturas em relação ao solo da floresta e da pastagem, em diferentes épocas e profundidades. Rolim de Moura/RO.....…….....108

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....15

2 OBJETIVO GERAL.....17

2.1 Objetivos Específicos.....17

3 REFERENCIAL TEÓRICO.....18

3.1 Mudanças no uso e manejo do solo.....18

3.2 Matéria orgânica e carbono orgânico do solo.....20

3.3 Sistemas uso e manejo do solo.....22

3.4 Qualidade do solo.....24

3.5 Biomassa microbiana do solo.....26

3.6 Respiração basal do solo.....28

3.7 Quocientes metabólico e microbiano do solo.....30

4 MATERIAL E MÉTODOS.....33

4.1 Local do estudo.....33

4.2 Histórico e caracterização das áreas.....33

4.2.1. Área de experimentação agrícola.....33

4.2.2 Área de floresta.....36

4.2.3 Área de pastagem.....37

4.3 Manejos das áreas agrícolas.....39

4.3.1 Safra 2014/2015.....39

4.3.2 Safra 2015/2016.....40

4.4 Atributos avaliados.....40

4.5 Delineamento experimental e análise estatística.....41

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....44

5.1 Carbono orgânico do solo.....44

5.1.1 Teor de carbono do solo nos manejos e épocas, em cada profundidade.....44

5.1.2 Teor de carbono orgânico do solo em diferentes manejos agrícolas, sucessões e épocas.....49

5.1.3 Teor de carbono orgânico do solo sob floresta e pastagem.....55

5.1.4 Teor de carbono orgânico do solo de floresta, pastagem e manejos agrícolas 58
5.2 Carbono da biomassa microbiana do solo 62
5.2.1 Carbono da biomassa microbiana do solo nos manejos, épocas e profundidades.....62
5.2.2 Carbono da biomassa microbiana do solo nos diferentes manejos, sucessões e épocas.....67
5.2.3 Carbono da biomassa microbiana do solo na floresta e na pastagem e em diferentes épocas.....72
5.2.4 Carbono da biomassa microbiana do solo na floresta, pastagem e manejos agrícolas..73
5.3. Respiração basal do solo 78
5.3.1 Respiração do solo nos manejos, sucessões e profundidades.....78
5.3.2 Respiração do solo nos manejos, sucessões e épocas 84
5.3.3 Respiração do solo na floresta e pastagem, nas três épocas.....86
5.3.4 Respiração basal do solo na floresta, pastagem e manejos agrícolas 88
5.4. Quociente microbiano do solo 91
5.4.1 Quociente microbiano do solo nos manejos, sucessões e épocas.....91
5.4.2 Quociente microbiano do solo nos manejos, épocas e profundidades.....96
5.4.3 Quociente microbiano do solo na floresta e na pastagem, em diferentes épocas.....98
5.4.4 Quociente microbiano do solo sob floresta, pastagem e manejos agrícolas.....99
5.5. Quociente metabólico do solo.....103
5.5.1 Quociente metabólico do solo nos manejos, épocas e profundidades.....103
5.5.2 Quociente metabólico do solo na floresta e pastagem, em diferentes épocas.....106
5.5.3 Quociente metabólico do solo sob floresta, pastagem e manejos agrícolas.....107
5.6. Considerações relativas dos indicadores nos diferentes usos e manejos do solo.....110
6 CONCLUSÕES.....115
REFERÊNCIAS.....116

1 INTRODUÇÃO

A degradação e o desmatamento de áreas de vegetação nativa são as principais causas do declínio e perda da biodiversidade mundial (FAO, 2010; PUTZ et al., 2012). A Floresta Amazônica representa mais da metade das florestas tropicais do mundo, sendo reconhecida pelo importante papel que exerce nos serviços ecossistêmicos globais, como a ciclagem de água e armazenamento de carbono (BELDINI et al., 2015; MAZZETO et al., 2016).

A substituição da floresta por pastagem e agricultura pode mudar as propriedades do solo, com consequências potencialmente importantes para o balanço de carbono do solo e para a diversidade biológica (MILNE et al., 2015).

Inicialmente, a principal razão para o desmatamento da Floresta Amazônica se deu pela exploração de madeira, seguida da implantação de pastagens. Com o aumento da demanda de grãos, fibras e carne para exportação um novo cenário se formou, onde áreas nativas continuam sendo substituídas por pastagem e, após, por agricultura. Áreas estão sendo submetidas a sistemas de manejo cada vez mais intensivos e tecnificados (MAZZETTO, 2009), formando um mosaico com diferentes manejos e intensidades de uso dos solos.

A mudança do uso do solo e a retirada da vegetação natural pode ser considerada uma das causas da perda gradual da fertilidade natural do solo, sobretudo na Amazônia, onde esses efeitos são mais pronunciados devido às elevadas temperaturas, umidade do ar e precipitação pluviométrica (DURIGAN, 2013). O revolvimento do solo para o cultivo anual acelera os processos de oxidação por microrganismos do solo, aumentando a degradação dos atributos químicos, físicos e biológicos e diminuindo os estoques do carbono orgânico, além de aumentar as perdas por erosão, especialmente em climas tropicais (SOUZA et al., 2014).

Com a mudança no uso do solo na Amazônia, surgem questionamentos: Como se dará o desempenho do ambiente edáfico frente às modificações? E, quais serão as consequências para o componente biológico, sobretudo o constituinte microbiológico do solo? Uma vez que esses componentes exercem um importante papel, sendo os principais responsáveis por manter a ciclagem de nutrientes no sistema solo-planta-atmosfera e, consequentemente, a sustentabilidade do sistema (BELDINI et al., 2015).

O desmatamento e posterior introdução da agricultura com práticas de preparo convencional do solo, tem promovido mudança na dinâmica e no desempenho das funções da matéria orgânica do solo, podendo diminuir a quantidade total ou reduzir os teores de algumas

de suas frações, como a fração leve e a biomassa microbiana (ROSCOE et al., 2006). Henrique (2016) e Mikos (2017) encontraram uma redução entre 19 e 23% nos teores de matéria orgânica em solos cultivados com pastagem, café e bananal quando comparados aos teores de solos sob floresta, em propriedades de Rondônia.

Esse decréscimo da matéria orgânica pode acelerar os processos de degradação do solo, com consequente prejuízo da sua qualidade. A preservação ou a melhoria da qualidade do solo é essencial para a sustentabilidade, enquanto a degradação do solo pode trazer impactos negativos nos ecossistemas.

A adoção de manejos baseados em técnicas da agricultura conservacionista (sistema plantio direto ou preparo reduzido) apresentam alto potencial de redução dos efeitos prejudiciais do preparo convencional do solo. Porém, esse potencial é influenciado por particularidades de cada sistema, sendo que, para uma efetiva manutenção da matéria orgânica, além da redução do revolvimento do solo devem ser utilizados sistemas de rotação com elevado aporte de resíduos orgânicos (ROSCOE et al., 2006). Com a manutenção de resíduos culturais ocorre a formação de agregados maiores e melhor estruturados, aumento da resistência à erosão, da ciclagem de nutrientes, do estoque de carbono no solo, da biomassa e da atividade microbiana (HUNGRIA et al., 2009; VEZZANI, MIELNICZUK, 2011).

Adicionalmente à melhoria da qualidade do solo, as práticas de manejo conservacionistas, também podem influenciar na qualidade do ar e da água, assim a interface agricultura-ambiente deve ser entendida como uma busca por sistemas produtivos sustentáveis (TOMASI, 2011).

Como ferramenta para monitorar e avaliar a qualidade do solo são empregados os indicadores microbiológicos, os quais estão ligados a dinâmica dos microrganismos do solo. Esses são responsáveis pelo funcionamento do solo, participando de processos como gênese, decomposição dos resíduos orgânicos, ciclagem dos nutrientes, formação e estabilização da matéria orgânica, além da biorremediação de áreas contaminadas (MENDES et al., 2015). Estudos que visam conhecer os indicadores microbiológicos, como atividade respiratória, diversidade genética e metabólica, quantidade e qualidade da biomassa microbiana nos sistemas de manejo do solo, ainda são poucos em solos da Região Amazônica.

Desse modo, investigar os indicadores de qualidade do solo, torna-se necessário para manter a integridade do sistema e a garantia da produção de alimentos, forragens e fibras. Além do mais, seu entendimento e aplicação pelos produtores rurais se traduz em ferramenta útil para incentivar os que já utilizam sistemas de manejo conservacionistas, ou para alertar outros que ainda utilizam manejos que possam levar à degradação do solo (MENDES et al., 2015).

2 OBJETIVO GERAL

Avaliar os indicadores químicos e microbiológicos de qualidade do solo em áreas sob diferentes usos, sistemas de manejo do solo e sucessão de culturas em Rondônia.

2.1 Objetivos Específicos

a) Avaliar o carbono orgânico, carbono da biomassa microbiana, respiração basal do solo, quociente microbiano e quociente metabólico, em áreas sob diferentes usos e sistemas de manejo do solo em Rondônia;

b) Avaliar o carbono orgânico, carbono da biomassa microbiana, respiração basal do solo, quociente microbiano e quociente metabólico, em áreas sob diferentes sucessões de culturas em Rondônia;

c) Avaliar o carbono orgânico, carbono da biomassa microbiana, respiração basal do solo, quociente microbiano e quociente metabólico, em diferentes épocas e profundidades em áreas sob diferentes usos e sistemas de manejo do solo em Rondônia.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Mudanças no uso e manejo do solo

O Estado de Rondônia está localizado na Região da Floresta Amazônica, onde predomina o clima tropical quente e úmido entre os meses de outubro a abril e quente e seco entre maio e setembro. Os solos dessa Região possuem características predominantes da região amazônica, onde os mesmos apresentam baixa fertilidade natural, produtividade relativamente alta, devido principalmente à reciclagem de nutrientes e a preservação da matéria orgânica do solo, formando assim um sistema equilibrado e eficiente (SCHLINDWEIN et al., 2012).

A colonização do Estado aconteceu posteriormente a de outros Estados do Brasil, com grande incremento de uso da área agricultável a partir da década de 80, quando o INCRA distribuiu os lotes de terra para os produtores. Os colonizadores, na maioria dos casos, eram agricultores arrendatários, meeiros e de outras profissões, geralmente com baixo nível tecnológico e pouco capital para investimentos na agropecuária. A ocupação destas terras iniciou com a derrubada da floresta, queima da vegetação e implantação de pastagens (SCHLINDWEIN et al., 2012). Técnicas de manejo do solo para evitar a erosão e de correção da fertilidade não foram adotadas nesse período (FERNANDES, GUIMARÃES, 2002).

A ocupação e condução dos solos de forma inadequada contribuem para a redução da fertilidade a um nível crítico, além disso, favorecem para o aparecimento de rios assoreados, solos erodidos e com baixa produtividade. Segundo Ferreira et al. (2007), a substituição das áreas de florestas por áreas com agricultura aliada ao cultivo excessivo, reduz a produção, causa erosão do solo resultando em perda de estrutura física, diminuição da matéria orgânica do solo, e, consequentemente, da biodiversidade associadas aos solos. Além disso, a baixa resistência à erosão hídrica contribui para a lixiviação de nutrientes e compostos orgânicos, contaminação de águas superficiais e subterrâneas e liberação de dióxido de carbono (CO_2) para a atmosfera.

O carbono emitido pelas atividades antrópicas na forma de dióxido de carbono (CO_2) tem origem na queima de combustíveis fósseis e na mudança no uso da terra. Esses combustíveis fósseis são a base da produção atual de energia utilizada pela sociedade, sendo representados pelo petróleo, carvão mineral e o gás natural. Devido ao elevado custo para mudar a matriz energética mundial, uma das opções para mitigar os efeitos das atividades humanas pode ser o investimento em atividades que recuperem os estoques de carbono em ecossistemas terrestres (ROSCOE, 2006).

A conversão da vegetação natural para áreas de lavouras/cultivos anuais ou pastagens sob os mais variados usos e manejos do solo pode ser considerada uma das causas da perda gradual da fertilidade natural do solo. Na Região Amazônica o impacto antrópico foi extenso nas últimas décadas, associado à retirada não controlada de madeira, à forte expansão da pecuária e, mais recentemente, da agricultura intensiva (DURIGAN, 2013; BELDINI et al., 2015). A substituição da vegetação nativa, seguida pelas queimadas e uso progressivo de implementos agrícolas e de insumos para cultivo de pastagens e lavouras, representa uma das alterações ambientais de maior impacto sobre esse ecossistema (DIAS-FILHO, 2003).

A substituição das florestas provoca perdas de carbono contido na biomassa vegetal, durante o processo de queima, emitindo grandes quantidades de carbono para a atmosfera, além disso, a decomposição de resíduos deixados na superfície e a oxidação do carbono orgânico do solo libera carbono na forma de CO_2 (D´ANDRÉA et al., 2006). Os efeitos da degradação são potencializados quando a floresta é substituída inicialmente por pastagens, uma vez que o ambiente edáfico é exposto ao intemperismo amazônico, que se caracteriza pela elevada umidade e radiação solar, altas temperaturas e intensa precipitação pluvial (SCHLINDWEIN et al., 2012).

Ao longo da história da humanidade, a conversão das florestas por pastagens ou cultivos anuais foi responsável por elevadas reduções nos estoques de carbono nos ecossistemas terrestres. Para Melo et al. (2012), essa substituição contribui para modificar o teor e a qualidade da matéria orgânica e altera a atividade biológica, a qual é responsável por processos bioquímicos e biológicos essenciais para o funcionamento do ecossistema.

Em solos tropicais como os encontrados na Região Amazônica, o manejo de forma inadequada é preocupante, devido à predominância dos minerais de argila do tipo 1:1 e com capacidade de troca catiônica dependente da matéria orgânica (FERREIRA, 2008). Essas características, somadas às condições climáticas como chuvas de grande intensidade e elevadas temperaturas, aumentam a suscetibilidade do solo a perdas (ALMEIDA, 2012). Desse modo torna-se necessário o uso de práticas adequadas de manejo do solo, que visam preservar ou aumentar a qualidade do solo.

Com a adoção de técnicas conservacionistas esses ecossistemas podem armazenar o carbono emitido para a obtenção de energia, permitindo que o desenvolvimento tecnológico continue em expansão, porém de forma mais sustentável. Dessa forma o solo, devido sua elevada capacidade de armazenar carbono quando comparado à atmosfera e à vegetação, tornou-se alvo de pesquisas visando a mitigação da emissão de CO_2 para a atmosfera (CIDIN, 2016).

3.2 Matéria orgânica e carbono orgânico do solo

Nos ecossistemas terrestres o principal reservatório temporário de carbono está nos solos que apresentam 4,5 vezes mais carbono que a biota e, aproximadamente, 3,3 vezes mais que a atmosfera (LAL, 2004). No entanto, devido a queima dos combustíveis fósseis e as mudanças do uso do solo, a quantidade de CO_2 está aumentando na atmosfera (CIAIS et al., 2013).

Os estoques de carbono orgânico do solo estão relacionados ao modo de uso e aos sistemas de manejo do solo, sendo que aqueles que são capazes de preservar ou aumentar o carbono orgânico também contribuem para a manutenção da capacidade produtiva e para a mitigação do aumento do CO_2 na atmosfera (SIQUEIRA NETO et al., 2009). Em áreas sob vegetação nativa, o carbono orgânico do solo tende a um valor estável e varia pouco ao longo do tempo. À medida que aumenta a intensidade de uso do solo com práticas do sistema convencional de preparo, o solo passa a ser um emissor de CO_2 para a atmosfera. Em contrapartida, em sistemas conservacionistas como o plantio direto e os sistemas agroflorestais, há maior armazenamento de carbono no solo devido ao elevado aporte de resíduos introduzidos no sistema (CIDIN, 2016).

O carbono orgânico é utilizado para avaliação da qualidade do solo, devido a sua influência sobre as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (BAYER, MIENILCZUK, 1999; JAKELAITIS et al. 2008). Este é o maior componente da matéria orgânica do solo (CIDIN 2016; BRORING, 2013), seu conteúdo no solo depende do equilíbrio entre a adição e a decomposição do material orgânico, sobre influência dos componentes bióticos do sistema. A substituição da vegetação nativa pela agricultura, a quantidade e a qualidade dos resíduos adicionados e o manejo do solo, interferem nas taxas de adição e decomposição da matéria orgânica do solo.

A importância da matéria orgânica no solo está ligada às funções que desempenha no meio ambiente, aos processos fundamentais como a ciclagem e retenção de nutrientes, a agregação das partículas do solo e a dinâmica da água, além de representar a fonte básica de energia para a atividade biológica do solo (ROSCOE, BODDEY, SALTON, 2006).

Também é considerada a principal fonte de cargas negativas dos solos nas regiões tropicais, sendo responsável pela adsorção de nutrientes e outros compostos orgânicos e inorgânicos, como agrotóxicos e poluentes (VEZZANI, MIELNICZUK, 2011). Sendo assim, a modificação na sua quantidade ou qualidade interfere nesses processos, acarretando

dificuldades para que o solo desempenhe suas funções e, desequilíbrios no sistema, levando a um processo de degradação.

O solo é considerado um sistema vivo e em constante modificação, que apresenta milhares de organismos, das mais variadas dimensões, que estão associados à matéria orgânica, utilizando-a como fonte de energia e de nutrientes necessários ao seu metabolismo, sobretudo os microrganismos. Os resíduos animais e vegetais provem energia e nutrientes necessários aos microrganismos, sendo que estão na composição química de uma ampla variedade de compostos orgânicos tais como carboidratos, lignina, proteínas, lipídios e substâncias húmicas (MENDONÇA, LEITE, 2006).

A fração orgânica do solo é um sistema extremamente complexo, sendo constituído de diversas substâncias, tendo sua dinâmica determinada pela incorporação de material orgânico ao solo e que, por meio da ação da microbiota, de enzimas e da fauna edáfica, sofrem intensa transformação.

A matéria orgânica do solo apresenta três compartimentos: a matéria orgânica transitória ou fração lábil, a biomassa microbiana e a matéria orgânica humificada (ou húmus do solo). A matéria orgânica transitória inclui resíduos vegetais e organismos do solo de rápida decomposição, formas solúveis em água e outros materiais orgânicos produzidos pelos microrganismos e raízes (ácidos de baixo peso molecular e polissacarídeos). A biomassa microbiana é formada pela meso e macrofauna, além dos microrganismos do solo. A mineralização desses dois compartimentos acontece em poucas semanas ou meses (ROSCOE, 2006; SILVA, MENDONÇA, 2007).

Em contrapartida, o compartimento mais estável está representado pela matéria orgânica humificada a qual é constituída por materiais recalcitrantes que passaram por diferentes processos de humificação, com arranjos complexos e ainda pouco caracterizados quimicamente, dentre eles os ácidos húmicos, fúlvicos e huminas (ROSCOE, 2006). São resistentes ao ataque dos microrganismos e podem persistir no solo por centenas de anos, seja por estarem fisicamente protegidos em complexos organominerais no interior dos agregados ou devido à sua estrutura molecular recalcitrante (PASSOS et al., 2007).

Para Alcântara e Carvalho (2006), o processo de decomposição ocorre em duas fases: na primeira há perda dos compostos solúveis e ocorre já nos primeiros meses, e na segunda, que se inicia pela quebra dos compostos estruturais, pode se prolongar por anos dependendo da complexidade do material. Existem grupos especializados de microrganismos que degradam cada material, sendo que as transformações iniciam por uma degradação rápida, seguida de uma redução lenta de hidrossolúveis fenólicos e hemiceluloses e por último as ligninas e proteínas.

Os sistemas de manejo do solo podem em curto prazo promover alterações nos teores da matéria orgânica leve ou transitória e da biomassa microbiana, sendo essas frações usadas para o monitoramento da qualidade do solo. Por sua vez, o compartimento húmus representa o principal componente da matéria orgânica do solo, consistindo na reserva orgânica do solo e, por isso, a maioria dos trabalhos envolvendo matéria orgânica dedica-se ao estudo dessa fração (MENDONÇA, LEITE, 2006).

A dinâmica da matéria orgânica do solo depende da interação dos fatores ambientais e das interferências do homem no meio. Um adequado conhecimento dessa dinâmica permite uso e manejo adequado do solo, pois a matéria orgânica do solo afeta a sua qualidade e produtividade.

Para Roscoe et al. (2006), o processo de degradação dos solos tropicais está relacionado à dinâmica da matéria orgânica, devido à sua importante participação nos processos físicos, químicos e biológicos no solo, sendo que sua degradação promove a desorganização do sistema. As consequências dessa desorganização são: o decréscimo da produção de biomassa e as maiores perdas de água, nutrientes e solo. Segundo os autores, para entendimento dos processos de degradação é necessário compreender não somente os teores totais da matéria orgânica do solo, mas faz-se necessário estudos detalhados das alterações quantitativas e qualitativas dos seus diferentes compartimentos, relacionando aos distúrbios provocados em função do manejo solo.

3.3 Sistemas de uso e manejo do solo

A preocupação com o impacto ambiental causado pelas atividades agropecuárias tem estimulado a adoção de sistemas conservacionistas de manejo do solo, com o intuito de reduzir os impactos no ambiente causados durante o processo de produção de alimentos, fibras e energia. O preparo reduzido e o sistema plantio direto associado ao retorno de resíduos culturais têm evoluído dentro do conceito de sistema conservacionista (ANDREOLA, FERNANDES, 2007). Esses sistemas diferem entre si quanto ao grau de mobilização e à forma como os resíduos vegetais ficam depositados no solo.

No Brasil o sistema plantio direto surgiu a partir da década de 70 e ocupa, aproximadamente, cerca de 32.000 ha distribuídos em todo país (FEBRAPDP, 2012). Tem como pressuposto, ausência de preparos de solo anteriores à semeadura, revolvimento do solo mínimo na linha de semeadura, diversificação das espécies vegetais (rotação de culturas) e manutenção da cobertura do solo com restos culturais de uma safra para outra (palhada), para

que o solo fique protegido do impacto direto das gotas de chuva, da erosão hídrica, bem como promovendo o estabelecimento dos organismos do solo (BAYER et al., 2000).

No sistema plantio direto devido à redução na taxa de decomposição dos resíduos, em função da não fragmentação e da ausência de revolvimento do solo, os resíduos têm menor área de contato com o solo, preservando o conteúdo de matéria orgânica do solo (CIDIN, 2016). Para que seja mantido um efetivo incremento do conteúdo de matéria orgânica do solo é necessário que o sistema seja eficiente em suprir carbono para o solo. Nesse caso, é necessário que a taxa de entrada de carbono seja superior à taxa de decomposição, o que pode ser alcançado utilizando sistemas de rotação de culturas que resultem em elevada produção de resíduos (BAYER et al., 2000).

Devido às características climáticas encontradas em nosso país onde existe a dificuldade de produzir uma quantidade grande de resíduos, cada vez mais estão sendo introduzidas gramíneas forrageiras com o objetivo de incrementar a cobertura de solo, diversificar a produção agrícola e inserir animais no sistema (ROSCOE et al. 2006).

Pesquisas estão sendo desenvolvidas em diferentes regiões para avaliar o impacto dos sistemas de manejo sobre os atributos de qualidade do solo. Os sistemas agrícolas conservacionistas por priorizarem o uso sustentável dos ecossistemas (ROSA et al., 2015) têm demonstrado benefícios como alta produção de biomassa, aumentam a resistência à erosão, a infiltração e o armazenamento de água, a retenção de nutrientes e elementos tóxicos, a biomassa e atividade microbiana, a ciclagem de nutrientes e o carbono orgânico do solo (RANGEL, SILVA, 2007; COSTA et al., 2008; FERREIRA, 2008; MAIA et al., 2010; DEBIASI et al., 2013).

Para Roscoe (2006), os resultados de pesquisa estão apontando discrepâncias quanto ao acúmulo de carbono no sistema plantio direto. No entanto, os autores atribuem essas diferenças, às condições experimentais de cada local e as técnicas que foram convencionalmente chamadas de sistema plantio direto, além do tempo de estabelecimento do sistema plantio direto e as condições climáticas.

Em relação ao tempo, são necessários anos para que os estoques de carbono se acumulem no solo, devendo as pesquisas considerarem essa lenta taxa de acúmulo. Para o fator clima, experimentos localizados em regiões subtropicais apresentam menores taxas de decomposição e uma tendência de incrementos no carbono em sistema plantio direto (BAYER, MIELNICZUK, 1999), diferente das regiões do Cerrado e da Amazônia.

Umas das formas para promover um balanço positivo entre as entradas e saídas de carbono no solo com acúmulo de matéria orgânica, seria utilizar culturas com alto aporte de

resíduos orgânicos combinadas com outras fixadoras de nitrogênio. Dessa forma, o nitrogênio fixado pelas leguminosas seria utilizado pelas gramíneas cultivadas em sucessão, as quais possuem elevada capacidade de produção de biomassa. Roscoe (2006), enfatizou a necessidade de se estudar o potencial produtivo de diferentes espécies para que ao serem introduzidas nos esquemas de sucessão ou rotação incrementarem as taxas de acúmulo de carbono no solo.

O uso intensivo do solo, quando práticas conservacionistas não são utilizadas, pode promover efeitos negativos tanto para o ambiente como para a produção agrícola, sobretudo em regiões tropicais. Esses sistemas são conhecidos como sistema de preparo convencional, sendo caracterizados pelo revolvimento do solo por meio de operações de aração e gradagem para o preparo e plantio e, com a incorporação dos resíduos vegetais (DEBIASI et al., 2013).

No que se refere ao ambiente, os sistemas com preparo convencional do solo causam redução da matéria orgânica do solo, processo esse que vem acompanhado da emissão de gases de efeito estufa para a atmosfera, como o dióxido de carbono, metano e óxido nitroso (DEBIASI et al., 2013; MAIA et al., 2013; COSTA et al., 2015).

Em relação à sustentabilidade do solo, o revolvimento aumenta a taxa de decomposição dos resíduos vegetais e a mineralização da matéria orgânica do solo, trazendo como consequências a desagregação e desestruturação do solo com perdas por erosão, compactação abaixo da camada arável, redução da disponibilidade de nutrientes para as plantas e na menor capacidade de armazenamento de água (LISBOA et al., 2012). Isso aumenta a dependência de insumos industrializados, o que reflete no aumento dos custos de produção, além da alta utilização de produtos fitossanitários (LIMA, 2007).

3.4 Qualidade do solo

As práticas de manejo do solo representam ações combinadas que são realizadas visando altas produtividades, buscando sempre a preservação e ou o aumento da qualidade do solo (ALMEIDA, 2012). Os sistemas de produção que utilizam o mínimo revolvimento do solo e espécies vegetais com alto aporte e diversidade de resíduos podem melhorar a qualidade do solo (VEZZANI, MIELNICZUK, 2009). Segundo Zilli et al. (2003), até os anos 80 o conceito de qualidade do solo esteve atrelado a sua fertilidade, sendo que um solo de qualidade era o que apresentava alta fertilidade.

A definição do termo qualidade do solo está intrínseca a sua capacidade de funcionamento dentro dos limites naturais de um ecossistema natural ou manejado. Ou seja, sustentar a produtividade, manter a biodiversidade considerando o equilíbrio ambiental,

promover a qualidade do ar e da água, bem como contribuir para a saúde humana (FERREIRA, 2008). Diante do exposto torna-se primordial para a sustentabilidade, sendo que a degradação trás impactos negativos para o ecossistema.

Em ambientes degradados, além da qualidade do solo, a sua biodiversidade e resiliência são gravemente afetadas, pois essas características intrínsecas ao solo são muito sensíveis às perturbações promovidas pelo homem. Para Melloni et al. (2007), a resiliência do solo é a capacidade de tolerância, tamponamento e a habilidade de conseguir se regenerar diante dos mais variados estresses. A biodiversidade, por sua vez, refere-se à variedade de grupos taxonômicos presentes no solo incluindo fungos, protozoários, bactérias, algas, nematoides, minhocas e artrópodes.

A degradação da qualidade do solo pelas práticas agropecuárias se manifesta pela ocorrência de processos erosivos, redução da matéria orgânica do solo, perda de nutrientes, compactação do solo e redução de populações microbianas, entre outros. Dessa forma a qualidade de um solo é importante indicadora da sustentabilidade dos agroecossistemas (SILVEIRA, 2011), e pode ser avaliada e acompanhada no decorrer do tempo ou por meio da comparação com valores de referência em áreas naturais, utilizando variáveis mensuráveis conhecidas como indicadores ou atributos de qualidade do solo (ROSA et al., 2015).

Para Melloni et al. (2007), um indicador é algo que aponta ou indica, podendo ser uma propriedade ou característica física, química ou biológica que ao ser medida, pode ser utilizada para monitorar as mudanças ocorridas no solo.

A determinação de indicadores se faz necessária porque seu estudo e monitoramento apresentam tendências de mudanças na qualidade ambiental, sejam elas causadas de forma natural ou pela ação antrópica, bem como uma ideia dos impactos que possam ser causados num determinado período de tempo (HAVLICEK, 2012). Além disso, seu acompanhamento permite identificar áreas problemas incorporadas ao sistema de produção, bem como dar suporte aos governantes na formulação e implantação de políticas agrícolas de uso da terra.

O uso de indicadores adequados e a atribuição de valores à qualidade do solo permitem, segundo Melloni et al. (2007), a avaliação da política de uso da terra, a avaliação de técnicas de manejo que degradam ou melhoram o solo e a identificação de áreas ou sistemas de manejo críticos.

Os indicadores químicos de qualidade do solo retratam parâmetros que são responsáveis pelos processos naturais do funcionamento, como a matéria orgânica - que influencia a palhada e a biomassa microbiana, o pH e a disponibilidade de macro e micronutrientes, os quais influenciam no desenvolvimento vegetal (ARAGÃO et al., 2012).

Dentre os indicadores físicos da qualidade do solo estão a textura, a estrutura, a resistência à penetração, a profundidade de enraizamento, a capacidade de água disponível e a percolação da água.

Os indicadores biológicos podem ser definidos como um grupo de microrganismos que indicam pela sua presença e atividade numa área determinada, a existência de uma situação especifica no ambiente. Segundo Melloni et al. (2007), os microrganismos têm sido muito utilizados nos estudos de qualidade do solo por apresentarem alta sensibilidade a perturbações naturais e antropogênicas, estarem correlacionados com a decomposição de resíduos orgânicos, transformação e ciclagem de nutrientes, biorremediação, controle de fitopatógenos, facilidade de avaliação e baixo custo.

Dentre os indicadores biológicos, o estudo da biomassa microbiana, atividade enzimática do solo, diversidade microbiana e metabólica, respiração basal do solo e mineralização do nitrogênio constituem indicadores sensíveis às alterações ambientais (MELO et al., 2012; HAVLICEK, 2012). Esses indicadores devem ser considerados conjuntamente com os demais (ARAGÃO et al., 2012), para que possam servir de ferramentas para orientar os produtores a manejarem seus solos de forma sustentável.

Segundo Tótola e Chaer (2002), um solo de qualidade apresenta grande atividade biológica e contêm grupos microbianos balanceados, sendo necessária a compreensão dos fatores que afetam esses microrganismos para a manutenção da sustentabilidade do ambiente. Muitos processos que acontecem no solo são mediados pelos microrganismos, como a decomposição de resíduos orgânicos, a transformação da matéria orgânica do solo, ciclagem de nutrientes, degradação de resíduos tóxicos e contaminantes (SILVEIRA, 2011; MELO et al., 2012).

O interesse dos pesquisadores pelos indicadores biológicos de qualidade do solo (bioindicadores) deve-se ao fato deles serem dinâmicos e sensíveis para responder rapidamente às modificações que ocorrem no ambiente do solo (HAVLICEK, 2012). Para Rosa et al. (2015), a perturbação antrópica dos ecossistemas e a conversão de áreas naturais para área de lavoura ou pastagens, podem trazer drásticas modificações ambientais como resultado da exploração sem limite dos recursos naturais.

3.5 Biomassa microbiana do solo

Por ser considerado um dos compartimentos da matéria orgânica do solo que permite avaliar sua dinâmica no solo, a biomassa microbiana do solo é um dos indicadores de qualidade

mais utilizados (FORTES NETO et al. 2007). Segundo Roscoe (2006), mesmo pequenas alterações nas condições do solo, que possam desencadear uma melhora ou perda da sua qualidade, podem ser detectadas com a análise da biomassa microbiana.

A biomassa microbiana do solo constitui 2 a 5% da matéria orgânica do solo, sendo considerada a parte viva da matéria orgânica do solo, representa o seu reservatório mais ativo. Nos processos de imobilização e mineralização, a biomassa microbiana do solo pode controlar os fluxos de elementos nos ecossistemas terrestres (ALMEIDA, 2012). Também atua nos processos de intemperismo das rochas na formação do solo até a decomposição de resíduos orgânicos, na ciclagem de nutrientes e biorremediação de poluentes e metais pesado.

A biomassa microbiana do solo é reciclada em uma velocidade maior que a fração orgânica morta do solo. Pela mineralização as formas orgânicas de nitrogênio, fósforo e enxofre são disponibilizadas às plantas pela ação dos microrganismos do solo que liberam formas inorgânicas desses elementos. No entanto, os microrganismos também têm seus próprios requerimentos nutricionais, podendo uma parte dos nutrientes liberados durante o processo de decomposição ficar imobilizados na biomassa microbiana do solo (ROSCOE et al., 2006).

As práticas de manejo e uso do solo podem modificar a biomassa microbiana do solo. O uso de práticas conservacionistas, como aquelas que permitem a cobertura vegetal do solo, a não incorporação de restos vegetais, a rotação de culturas, a adubação orgânica, adubação verde e, sobretudo, o correto uso do sistema plantio direto, pode resultar na melhoria da produtividade associada com sua qualidade e sustentabilidade (ANDREOLA, FERNANDES, 2007).

Em relação aos sistemas de cultivo, o uso de várias combinações de plantas na rotação de culturas aumenta a biomassa microbiana do solo, seja pela liberação de diferentes composições de ácidos orgânicos ou pelos componentes presentes nos exsudatos radiculares, permitindo que um maior número de espécies microbianas habite o solo, em comparação com o sistema de monoculturas (CENCIANI, 2007).

Outro fator importante no desenvolvimento da biomassa microbiana do solo é a profundidade, sendo que sua concentração na maioria das vezes está na profundidade de 0-10 cm, do solo (HUNGRIA et al., 2009). Em termos de mudanças sazonais de umidade e temperatura, estas promovem oscilações na atividade microbiana, afetando também as taxas de mineralização e imobilização dos nutrientes e nos fluxos de gases para a atmosfera.

Nos estudos sobre biomassa microbiana do solo, atenção dever ser dada a terminologia, pois para De-Polli e Guerra (1999), a sua estimativa deve ser distinguida de sua atividade, pois não se trata de uma medida da atividade da microbiota do solo, mas sim da

massa microbiana viva total do solo num determinado momento, considerando-se a população microbiana como uma entidade única.

De maneira generalizada, os métodos para estimar a biomassa microbiana do solo referem-se à massa celular com base no carbono microbiano, pela facilidade de sua quantificação, pois o teor é elevado nas células (DE-POLLI; GUERRA, 2008). Muitas metodologias são empregadas para determinar a biomassa microbiana do solo sendo as mais utilizadas a fumigação-extração, fumigação-incubação e o da respiração induzida por substrato.

Como constitui a maior parte da fração ativa da matéria orgânica do solo, o estudo da sua dinâmica pode aferir alterações no conteúdo de matéria orgânica causadas pelo manejo num curto período de tempo. Dessa forma estudos que relacionem a dinâmica do carbono e do nitrogênio do solo com a quantidade e atividade dos microrganismos do solo sob diferentes sistemas de manejo são de grande importância para decidir sobre a adoção de sistemas que visem o uso sustentável do solo.

Estudos conduzidos por Kaschuk et al. (2011), evidenciaram que diferentes formas de uso do solo, influenciaram a atividade e a biomassa microbiana. Houve redução no carbono da biomassa quando a vegetação natural foi substituída pelo uso de práticas agrícolas. Resultados semelhantes foram encontrados por Delbem et al. (2011) em áreas de lavoura, quando comparadas às áreas de pasto e florestal e por Cunha et al. (2011) onde a floresta foi substituída por lavouras, principalmente com o preparo convencional do solo. Para Mendonça (2006) o sistema plantio direto, que prioriza o aporte de matéria orgânica ao solo, favorece um aumento significativo desse compartimento da matéria orgânica do solo.

3.6 Respiração basal do solo

A determinação da biomassa microbiana do solo e a interpretação dos resultados isoladamente não fornecem indicações sobre os níveis de atividade das comunidades microbianas presentes no solo. Desse modo, outras análises se tornam necessárias para avaliar a atividade microbiana e indicar o estado metabólico dos microrganismos do solo.

A microbiota do solo utiliza uma ampla variedade de compostos orgânicos e inorgânicos para realizar seu metabolismo e desenvolvimento. No ambiente do solo, ela obtém energia e carbono pela decomposição do material vegetal ou da própria matéria orgânica do solo, convertendo energia e matéria de uma forma para outra e assim realizando o movimento de energia e de matéria no sistema solo (VEZZANI, MIELNICZUK 2011).

A respiração dos organismos do solo libera carbono fixado pela fotossíntese e regula a produtividade líquida do ecossistema. O CO_2 liberado pela decomposição microbiana de serapilheira e da oxidação da matéria orgânica do solo é acompanhado pela imobilização ou mineralização de nutrientes e, está relacionado com a ciclagem dos nutrientes do solo.

A respiração edáfica desempenha grande importância na regulação dos ciclos do carbono e da concentração atmosférica de CO_2 no planeta. O ciclo do carbono inicia, geralmente, quando as plantas fixam CO_2 do ar e o convertem em compostos de carbono orgânico pela fotossíntese. Alguns dos compostos de carbono orgânico são usados para sintetizar os próprios tecidos vegetais e outros são utilizados como fonte de energia pelas plantas.

Durante esses processos o CO_2 é liberado para a atmosfera pela respiração da planta. Em contrapartida, resíduos de origem animal e vegetal são decompostos pelos microrganismos, e isso fornece energia para o crescimento da biomassa microbiana do solo e outras atividades, sendo que ao mesmo tempo, o CO_2 é liberado para a atmosfera pela respiração microbiana (LUO, ZHOU, 2006).

A atividade microbiológica pode ser medida pela respiração basal do solo que representa a medida da produção de CO_2 como resultado dos processos metabólicos de todos os organismos vivos presentes no solo. São esses microrganismos, raízes vivas, macrofauna e oxidação da matéria orgânica por organismos aeróbios que utilizam O_2 como aceptor final de elétrons e liberam CO_2 (TÓTOLA, CHAER, 2002). Essa atividade permite entender melhor os processos de mineralização e visualizar a intensidade dos fluxos de energia (MAZZETO, 2009).

A respiração dos microrganismos é dependente do estado fisiológico das suas células, sendo influenciada pela temperatura, umidade e disponibilidade de nutrientes no meio. Os microrganismos do solo possuem resiliência e se adaptam em solos com condições variadas de água disponível. Segundo Luo e Zhou (2006), a taxa de respiração em solo seco atinge um alto nível após um evento de chuva e, em seguida, entra em declínio à medida que o solo seca. Esse incremento na respiração provocado pela chuva está inversamente relacionado com a taxa de respiração antes do episódio da chuva acontecer. Uma redução nas quantidades de precipitação, geralmente resulta em uma diminuição da respiração do solo.

Em relação à temperatura, D´Andréa et al. (2006) apontam relações entre temperatura do solo ou do ar e as emissões de CO_2, sendo que aumentos na temperatura podem elevar exponencialmente as taxas de respiração do solo. Em termos de disponibilidade de nutrientes, em geral a respiração basal do solo diminui com a redução do suprimento de substratos ou resíduos e aumenta com a sua adição. O suprimento de substrato é o principal processo limitador

da taxa de atividade microbiana nos solos secos, enquanto que a difusão de O_2 controla a atividade em solo úmido (Luo e Zhou, 2006).

Considerando-se que a decomposição dos substratos orgânicos disponibiliza nutrientes para as plantas, uma alta atividade respiratória pode ser interpretada como uma característica desejável. Porém, essa alta atividade respiratória pode resultar em intensa decomposição da matéria orgânica do solo, o que compromete os processos químicos e físicos que ocorrem no solo (ROSCOE et al, 2006).

A respiração basal do solo representa a saída do carbono do ecossistema terrestre e tem um grande potencial como indicador do seu ciclo. Pode ser medida no campo, sob condições naturais, ou em laboratório, sendo que a determinação do gás carbônico liberado é feita por titulação (quando o CO_2 é capturado usando NaOH), cromatografia gasosa e espectroscopia de infravermelho (SILVEIRA, 2011).

O sequestro de carbono no solo implica na remoção de CO_2 atmosférico pelas plantas e no armazenamento de carbono fixado como matéria orgânica do solo. Assim sendo, práticas de manejo como a diminuição da intensidade de revolvimento do solo, uso de culturas com alta adição de fitomassa, manutenção de resíduos culturais e melhoria no manejo da água (MAIA et al., 2010) podem colaborar para tornar o solo um dreno de carbono no ecossistema, o que pode ser considerado como alternativa sustentável para a redução das taxas de emissão de CO_2 (CAMPOS et al., 2013; MOITINHO et al., 2013).

Já as emissões de CO_2 pelo solo estão relacionadas com a decomposição dos resíduos vegetais, a respiração radicular e microbiana, além da oxidação da matéria orgânica do solo, que é favorecida pelo revolvimento do solo. Rodrigues et al. (2013) citam em seu trabalho que a agricultura contribui com, aproximadamente, um terço da emissão antrópica dos gases de efeito estufa, dentre eles o dióxido de carbono.

3.7 Quocientes metabólico e microbiano do solo

Além da biomassa microbiana, da diversidade metabólica e da respiração basal do solo, muitos pesquisadores têm apontado os quocientes metabólico (qMet) e o microbiano (qMic) como indicadores sensíveis aos diferentes sistemas de uso e manejo do solo (MONTEIRO, GAMA- RODRIGUES, 2004; FRANCHINI et al., 2007; MERCANTE et al., 2008; GOMIDE et al., 2011; SILVEIRA, 2011).

O quociente metabólico é um índice que combina a quantidade de dióxido de carbono (C- CO_2) liberada por unidade de biomassa microbiana em determinado tempo (C-CO_2/CBM). Este índice é medido por meio das análises de respiração associadas com a medida da biomassa microbiana, refletindo a energia necessária para manutenção da população (MAZZETTO, 2009).

Quando a biomassa microbiana do solo aumenta sua eficiência ao utilizar os recursos do sistema, menos carbono é perdido pela respiração (CO_2) e maior proporção de carbono incorporada aos tecidos microbianos (RANGEL e SILVA, 2007; SILVA-OLAYA, 2010). Para amostras com os mesmos valores de biomassa, uma menor taxa de respiração (qMet) é considerada a mais eficiente (ROSCOE et al., 2006). Dessa forma, uma biomassa microbiana eficiente tem menor valor de qMet, o que indica um solo mais equilibrado e que desprende menos CO_2 para a atmosfera.

Manejos que contemplam a incorporação de resíduos de culturas, como ocorrem no preparo convencional do solo, proporcionam qMet mais elevado, significando perda de dióxido de CO_2 para a atmosfera. Entretanto, sistemas conservacionistas, como o sistema plantio direto, tendem a apresentar aumento na biomassa microbiana e diminuição na atividade metabólica (CO_2), indicando aumento na eficiência de uso do carbono pela comunidade microbiana (CAMELO et al., 2011).

O quociente microbiano (qMic) representa a porcentagem do carbono da biomassa microbiana em relação ao carbono orgânico do solo, o qual permite acompanhar de forma mais rápida, as perturbações sofridas pelo desequilíbrio ecológico e as variações no total de matéria orgânica (FERREIRA, 2008; DELBEM et al., 2011). O qMic expressa a eficiência da biomassa microbiana em utilizar o carbono orgânico, sendo que maiores quocientes significam maior ciclagem de nutrientes, consequentemente, menor acúmulo de carbono; enquanto que menores quocientes representam menor ciclagem de nutrientes e maior acúmulo de carbono.

O qMic indica a qualidade da matéria orgânica e disponibilidade de carbono para o crescimento da população, permitindo acompanhar a dinâmica da matéria orgânica do solo (TÓTOLA, CHAER, 2002). Seu valor é influenciado pelo pH do solo, sistemas de preparo, quantidade e qualidade do aporte de carbono. Sob condições de estresse os microrganismos reduzem sua capacidade de utilização do carbono, conduzindo ao decréscimo do qMIC. E com o término da situação de estresse ou com a adição de matéria orgânica de boa qualidade, ocorre um incremento na biomassa microbiana e no qMic, ainda que os teores de carbono orgânico permaneçam inalterados (ROSCOE et al., 2006).

Numa meta-análise para avaliar o impacto do uso do solo em diversos biomas brasileiros sobre os indicadores químicos e microbiológicos de qualidade do solo, Kaschuk et al. (2011) constataram que a perturbação do mesmo reduz o qMic quando comparado as áreas sob vegetação nativa de cada bioma. Matoso et al. (2012) também encontraram maior qMic em solos sob floresta amazônica quando comparado às áreas sob cultivo agrícola. A presença de abundante sistema radicular e aporte continuo e diversificado de material orgânico permitem incrementos do qMic.

Em relação à comparação do qMic entre os manejos agrícolas do solo, existe uma tendência de que o aumento do revolvimento do solo provoque uma queda no qMIC, onde os valores encontrados no preparo convencional do solo são mais baixos do que os encontrados no sistema plantio direto (HUNGRIA et al., 2009; MATOSO et al., 2012). Elevado qMic aponta maior eficiência dos microrganismos em utilizar o carbono orgânico, convertendo-o para carbono microbiano e revelando maior estado de equilíbrio no ambiente (XAVIER et al., 2006; MALUCHE-BARETTA et al., 2007).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Local do estudo

O estudo foi desenvolvido no período entre os anos 2014 a 2016 na Fazenda Experimental da Universidade Federal de Rondônia, localizada na Rodovia RO 479 no município de Rolim de Moura/RO (11º 34' 57” S e 61º 46' 21” W) (Figura 1). O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo textura argilosa (SANTOS, et al., 2013).

O clima predominante da região é Am, segundo classificação de Köppen-Geiger (ALVARES et al., 2013), com estação seca bem definida entre os meses de maio a setembro, e estação chuvosa entre os meses de outubro a abril. A temperatura média anual varia entre 24 e 26ºC, a precipitação média anual é de 1760 mm e a umidade relativa varia de 79% e 85% (RONDÔNIA, 2012).

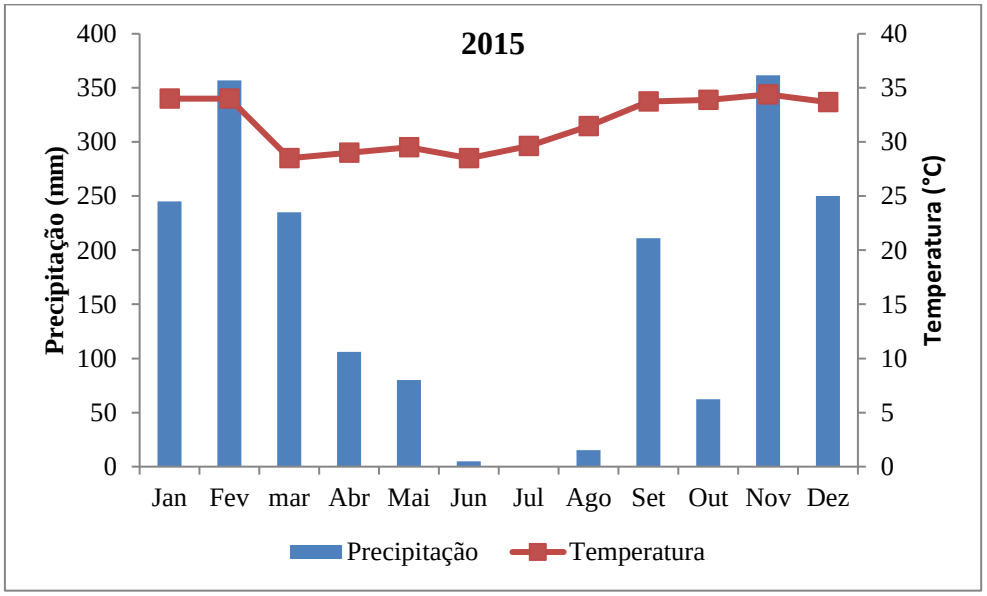
Os dados mensais referentes a precipitação pluviométrica e a temperatura média observados durante o período de realização do experimento foram coletados na Estação Meteorológica da Fazenda Experimental (Figura 1).

4.2 Histórico e caracterização das áreas

O estudo foi conduzido em áreas com diferentes usos do solo, sendo uma área de experimentação agrícola, uma área de floresta secundária e outra de pastagem.

4.2.1 Área de experimentação agrícola

A área de experimentação agrícola foi definida com base em estudos de longa duração que vem sendo realizados desde o ano de 2007. Até a instalação do experimento em 2007, a área não possuía histórico de cultivos agrícolas, sendo que neste local havia uma floresta primária, a qual foi derrubada para formação de pastagem e, atualmente, é utilizada como área para experimentação agrícola. Foram coletadas amostras de solo para verificação dos atributos químicos e físicos do solo, no momento de instalação do experimento (Tabela 1).



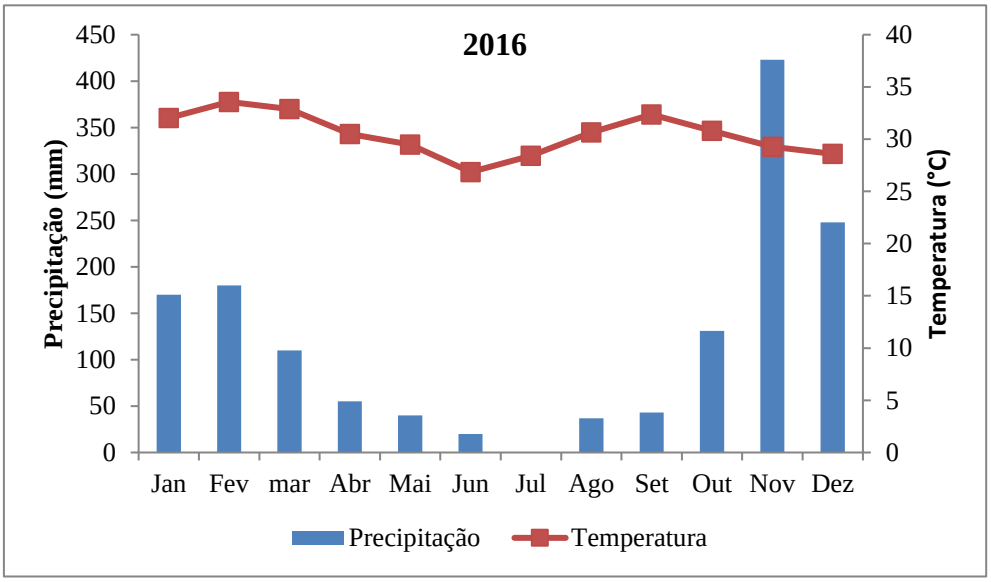


Figura 1 – Distribuição da precipitação pluviométrica acumulada e temperatura média mensal durante o período experimental. Rolim de Moura/RO.

Tabela 1 – Atributos químicos e físicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo nas áreas de experimentação agrícola, coletado na profundidade de 0-20 cm, em Rolim de Moura/RO.

pH	MOS	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	V	Areia	Silte	Argila
(H_2O)	g kg^{-1}	mg kg^{-1}	cmol$_c$ kg^{-1}					%	g kg^{-1}		
5,6	26	0,9	0,18	1,2	0,4	0,1	3,9	31	558	132	311

MOS= matéria orgânica do solo; V= saturação por bases.

Na área de experimentação agrícola foram aplicados quatro sistemas de manejo do solo, que representaram diferentes mobilizações do solo, sendo chamados de preparo tradicional

(PRT), preparo alternativo (PRA), plantio direto contínuo (PDC) e plantio direto alternativo (PDA). Cada manejo foi alocado numa parcela medindo 712,80 m^2 (Tabela 2).

Tabela 2 – Descrição dos sistemas de manejo do solo utilizados na área de experimentação agrícola

Manejo do solo	Símbolo	Descrição
Preparo tradicional	PRT	Três gradagens utilizando uma grade média, sendo as operações realizadas antes da safra.
Preparo Alternativo	PRA	Escarificação do solo seguida pela passagem de grade niveladora, realizadas antes da safra.
Sistema plantio direto contínuo	PDC	Não houve preparo do solo, sendo o único revolvimento na linha de semeadura.
Sistema plantio direto alternativo	PDA	Sistema plantio direto com uma subsolagem a cada quatro anos, sendo essa operação realizada na implantação (2007), outra operação em 2011 e a última em 2015.

Cada parcela do manejo foi dividida em doze subparcelas que receberam os tratamentos sucessões de culturas (Tabela 3), representando diferentes quantidades de produção de resíduos vegetais e onde as plantas foram cultivadas de dezembro a abril (safra) e de abril a junho (safrinha). As sucessões corresponderam a quatro combinações de culturas (milho x milho + braquiária, milho x caupi, soja x milho + braquiária, soja x caupi), com três repetições, totalizando 48 subparcelas de 59,4 m^2.

Tabela 3 – Histórico das sucessões de culturas nos diferentes manejos do solo

Sucessões de culturas	Símbolo	Histórico
Milho x milho + braquiária	M/M	De 2007 até 2014 foi semeado milho na safra e milho na safrinha. A partir de 2015 foi semeado milho na safra e milho na safrinha em consorcio com a braquiária ruziziensis, a qual era semeada quando o milho apresentava 1 m de altura.
Milho x feijão/caupi	M/C	De 2007 até 2014 foi semeado milho na safra e feijão comum na safrinha. A partir de 2015 foi semeado milho na safra e caupi na safrinha.
Soja x milho + braquiária	S/M	De 2007 até 2014 foi semeada soja na safra e milho na safrinha. A partir de 2015 foi semeada soja na safra e milho na safrinha em consorcio com a braquiária ruziziensis, a qual era semeada quando o milho apresentava 1 m de altura.
Soja x feijão/caupi	S/F	De 2007 até 2014 foi semeada soja na safra e feijão comum na safrinha. A partir de 2015 foi semeada soja na safra e caupi na safrinha.

4.2.2 Área de floresta

A área de floresta foi escolhida como testemunha por representar a condição inicial do solo. Para delimitar a área, foi escolhido um fragmento de floresta secundária com características homogêneas em termos de relevo e distribuição do dossel, localizada dentro do campus da Universidade Federal de Rondônia, na RO 479, distante 330 m da área de experimentação agrícola.

Essa floresta possui uma área aproximada de 24 hectares e tem como espécies predominantes a pindaíba (*Guatteria* spp), o jambo de anta (*Bellucia grossularioides*), virola (*Virola sirinamensis*), pamã (*Pseudomeldia* sp), pente de macaco (*Apeiba echinata*) e ingá (*Inga* spp).

Dentro da floresta foi delimitada uma área de 33 x 21,6 m, dividida igualmente em 12 subáreas (11 x 5,4 m), onde foram coletadas as amostras de solo na profundidade de 0-10 e 10-20 cm, em duas épocas do ano.

4.2.3 Área de pastagem

A área de pastagem foi escolhida por representar a conversão de uso do solo que mais aconteceu no Estado de Rondônia. Atualmente no Estado, a área coberta por pastagens é de, aproximadamente, 6,5 milhões de hectares.

A área da pastagem era uniforme em termos de relevo e cobertura de plantas de *Brachiaria brizantha* (Hochst Stapf) implantada há 25 anos, aproximadamente, com área de 221 hectares e localizada há 225 m da área de experimentação agrícola. Essa área não recebeu correção ou fertilização do solo, desde sua implantação, sendo apenas realizado controle químico de plantas invasoras. Atualmente, está sendo utilizada para criação de bovinos de corte, e é feita lotação intermitente com período de descanso da pastagem por aproximadamente, 20 dias. A taxa de lotação é de 1,80 animais ha^{-1}.

Conforme Dias-Filho (2017) foram avaliados os indícios da degradação da pastagem, considerando a presença de plantas invasoras e áreas do solo descoberto ou sem vegetação, e a pastagem foi classificada como não degradada.

Nesta área também foi escolhido um ponto com maior uniformidade e foi delimitada uma área de 33 x 21,6 m, dividida igualmente em 12 subáreas onde foram coletadas as amostras de solo, no mesmo esquema e época das demais coletadas (Figura 2).

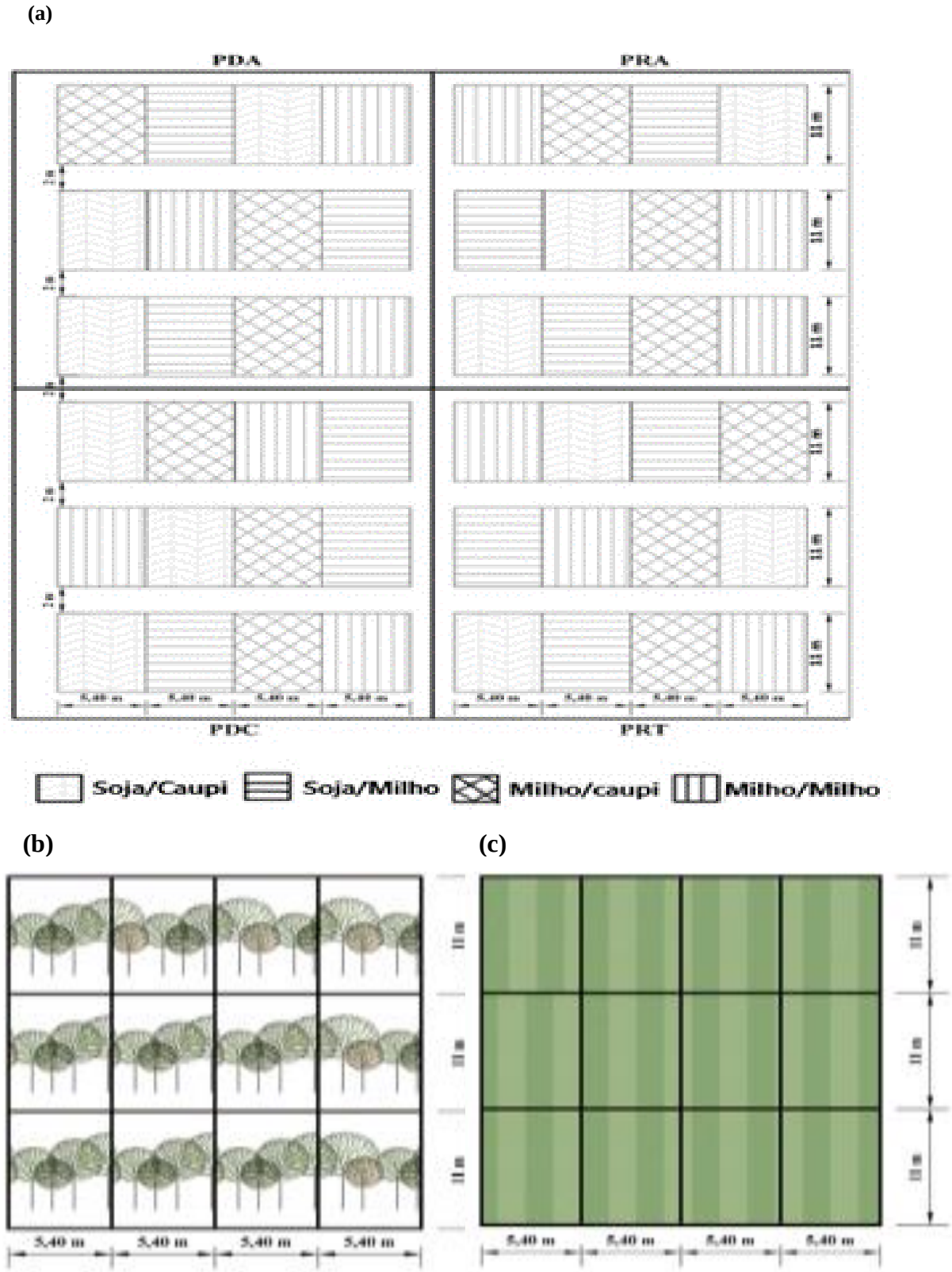


Figura 2 – Representação das áreas de estudo e disposição dos tratamentos. a) Área de experimentação agrícola: **PDA**: plantio direto alternativo, **PDC**: plantio direto contínuo, **PRA**: preparo alternativo, **PRT**: preparo tradicional; **M**: milho; **C**: caupi, **S**: soja; b) Floresta; c) Pastagem. Rolim de Moura/RO.

4.3 Manejos das áreas agrícolas

O estudo foi desenvolvido durante dois anos consecutivos, sendo implantadas duas safras agrícolas (2014/2015 e 2015/2016).

4.3.1 Safra 2014/2015

A implantação dessa safra iniciou em novembro de 2014, com a dessecação das plantas da área de experimentação agrícola utilizando como herbicidas o Glifosato, Paraquat + Diuron e a flumioxazina. Após o tempo de ação dos herbicidas procedeu-se às operações de preparo do solo. Nos tratamentos PRT e PRA o solo foi preparado utilizando dois implementos: uma grade aradora dupla ação de discos (Tatu®), com duas seções de sete discos de 26’’ e um arado subsolador (Tatu®) com cinco hastes espaçadas 0,50 m cada uma, trabalhando na profundidade de 0,40 m, ambos acoplados em um Trator TL 85G, 4 x 2 (New Holland®). Nos tratamentos PDC e PDA não houve preparo do solo.

A semeadura da safra foi realizada na segunda quinzena de dezembro de 2014, sendo semeadas 24 subparcelas com soja (*Glycine max* (L.) Merr) e 24 subparcelas com milho (*Zea mays* L.). Já a semeadura da safrinha, realizada em maio de 2015, foram implantadas 24 parcelas de milho consorciado com braquiária (*Brachiaria ruziziensis* R. Germ & Evrard) e 24 parcelas de feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) WaIp.).

A soja (variedade TMG 1180) foi semeada com espaçamento entre linhas de 0,45 m e população de 250.000 plantas por hectare, sendo que as sementes receberam inoculante líquido contendo *Bradyrhizobium japonico*, na dosagem de 100 mL por 50 kg de sementes. O milho (variedade RB 9308 PRO) foi semeado com 0,70 m entre linhas, 70.000 plantas por hectare. Para o feijão caupi, o espaçamento entre linhas foi de 0,60 m (60.000 plantas. ha^{-1}) e 0,70 m para o milho safrinha (70.000 plantas. ha^{-1}). A braquiária foi implantada utilizando 12 kg de semente por hectare, sendo semeada a lanço apenas nas subparcelas onde foi semeado o milho, quando esse atingiu um metro de altura.

A adubação de semeadura foi efetuada somente para as culturas da safra, utilizando-se 350 kg ha^{-1} da formulação comercial 4-30-16, sendo que o milho recebeu adubação de cobertura utilizando-se 120 kg ha^{-1} de nitrogênio, na forma de uréia, quando apresentava cinco folhas expandidas.

O controle fitossanitário foi realizado por meio do uso de herbicidas seletivos para cada cultura, sendo que para o milho foi utilizado o Glifosato e 2,4 D e para a soja a Flumioxazina e o Glifosato. Para o controle dos percevejos, lagartas e mosca-branca foram utilizados Imidacloprido + beta-ciflutrina. Para combater a ferrugem foi utilizado Estrobilurina + Triazol, tanto na soja como no milho.

4.3.2 Safra 2015/2016:

Após a dessecação da área com Glifosato, 2,4 D e Flumioxazina na segunda quinzena de novembro de 2015, o solo foi manejado de acordo com cada tratamento, sendo utilizados os mesmos implementos àqueles com revolvimento, conforme descrito no item 4.3.1. No entanto, no tratamento PDA foi realizada uma subsolagem, prevista a cada quatro anos, seguida de uma passada de grade niveladora. No tratamento PDC não houve preparo do solo, somente aplicação de herbicidas.

Na safra a soja e o milho foram semeados na primeira semana de dezembro, utilizando as variedades Escud1 e LG 6038 PRO2, respectivamente. Seguindo as combinações das sucessões de culturas, a safrinha foi implantada no final de abril de 2016, utilizando-se o milho, a braquiária e o feijão caupi (variedade BRS Tumucumaque). As sementes de soja foram inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum*, na dosagem de 100 mL por 50 kg quilos de sementes.

O espaçamento, a população de plantas e a adubação para cada cultura da sucessão ocorreu como descrito no item 4.3.1, tanto na safra como na safrinha.

O controle fitossanitário foi realizado por meio da retirada de plantas invasoras de folha larga em parcelas com maior incidência e também com o uso de Glifosato. Para o controle dos percevejos, lagartas e mosca-branca foram utilizados Clorpirifós e Imidacloprido + Beta-Ciflutrina. As formigas foram controladas com Fipronil + Azadiractina. Para combater a ferrugem e a helmintosporiose foram utilizados piraclostrobina + epoxiconazol, tanto na soja como no milho.

4.4 Atributos avaliados

A coleta das amostras de solo para determinação do carbono orgânico do solo (COS) e do carbono da biomassa microbiana (CBM) foi realizada em quatro épocas: em março e

outubro de 2015 e também em maio e outubro de 2016. Para a respiração basal do solo (RBS) foram coletadas em outubro de 2015, maio e outubro de 2016.

As subparcelas de cada área foram amostradas com auxílio de um trado tipo holandês, onde foram retiradas três subamostras casualizadas nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm para formar uma amostra composta por subparcelas. O solo foi colocado em sacolas plásticas, etiquetado e guardado em caixa refrigerada e encaminhado para o laboratório de Química Geral e Bioquímica da Universidade Federal de Rondônia, campus Rolim de Moura, onde ficou refrigerado até o momento da análise.

No laboratório, seguindo metodologia descrita por De-Polli e Guerra (1997), as amostras de solo foram preparadas para análise por meio da eliminação manual de fragmentos de raízes e outros resíduos e depois passadas em peneira com malha medindo 2 mm de abertura de malha.

Para a determinação do carbono orgânico do solo (COS) foi seguida metodologia proposta por Rodrigues et al. (2016), onde a quantificação do carbono ocorre pela oxidação dos compostos orgânicos via úmida com dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$) em meio sulfúrico. Para a determinação dos teores do carbono da biomassa microbiana as análises foram realizadas conforme o método da fumigação-extração de Vance et al. (1987), e adaptado por Silva et al. (2007a). E, para a medição da RBS, o método utilizado foi o de Jenkinson e Powlson (1976) modificado por Silva et al. (2007).

Após a determinação dos teores de carbono na biomassa microbiana e carbono do solo foi calculado o quociente microbiano (qMIC) – por meio da razão entre o CBM e o COS. Com os valores da respiração basal do solo foi possível calcular o quociente metabólico (qCO_2) - obtido pela razão entre a RBS por unidade de CBM.

4.5 Delineamento experimental e análise estatística

O desenho experimental foi o fatorial duplo subdividido com dois tratamentos adicionais, [(4 x 4) + 2] x 4 x 2, sendo quatro manejos do solo, quatro sucessões de culturas, uma área de floresta e uma área de pastagem, com quatro épocas de avaliação e duas profundidades.

Antes da análise da variância (ANOVA), o conjunto de dados foi testado quanto à presença de *outliers*, pelo teste de Grubbs, quanto à normalidade, pelo teste de Anderson-Darling, e quanto à igualdade das variâncias, pelo teste de Levene, todos a 1% de probabilidade. Os dados de carbono da biomassa microbiana e de respiração basal do solo foram transformados

usando-se a transformação de Johnson, pois as premissas acima não foram satisfeitas. O teste t-LSD foi usado para comparações de médias, quando diferenças significativas foram detectadas pela ANOVA, ao nível de 5%. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011).

O modelo matemático utilizado para a análise de variância foi o seguinte:

$$Y_{ijklJ}=\mu+\rho_J+\alpha_i+\varepsilon_{\alpha J}+\beta_j+(\alpha\beta)_{ij}+Ad_p+\varepsilon_{\alpha\beta J}+\beta j+\varepsilon_{\gamma J}+(\alpha\gamma)_{ik}+(\beta\gamma)_{jk}+(\alpha\beta\gamma)_{ijk}+\varepsilon_{\alpha\beta\gamma J}+\delta_l+\varepsilon_{\delta J}+(\alpha\delta)_{il}+(\beta\delta)_{jl}+(\alpha\beta\delta)_{ijl}+\varepsilon_{\alpha\beta\delta J}+(\gamma\delta)_{kl}+(\alpha\gamma\delta)_{ikl}+(\beta\gamma\delta)_{jkl}+(\alpha\beta\gamma\delta)_{ijkl}+\varepsilon_{\alpha\beta\gamma\delta J} \quad \text{Eq. (1)}$$

$YijklJ$: valor de uma determinada observação

μ: média geral

J: repetição

ρJ: efeito do bloco

αi: efeito do manejo do solo

εaJ: erro do manejo

βj: efeito da sucessão

$(\alpha\beta)ij$: efeito da interação entre manejo e sucessão

Adp: efeito do contraste entre tratamentos adicionais e o fatorial duplo

$\varepsilon\alpha\beta j$: erro da interação entre manejo e sucessão

γk: efeito da época

$\varepsilon\gamma j$: erro da época

$(\alpha\gamma)ik$: efeito da interação entre manejo e época

$(\beta\gamma)jk$: efeito da interação entre sucessão e época

$(\alpha\beta\gamma)ijk$: efeito da interação entre manejo, sucessão e época

$\varepsilon\alpha\beta\gamma J$: erro da interação entre manejo, sucessão e época

δ_l: efeito da profundidade

$\varepsilon_{\delta J}$: erro da profundidade

$(\alpha\delta)_{il}$: efeito da interação entre manejo e profundidade

$(\beta\delta)_{jl}$: efeito da interação entre sucessão e profundidade

$(\alpha\beta\delta)_{ijl}$: efeito da interação entre manejo, sucessão e profundidade

$\varepsilon_{\alpha\beta\delta J}$: erro da interação entre manejo, sucessão e profundidade

$(\gamma\delta)_{kl}$: efeito da interação entre época e profundidade

$(\alpha\gamma\delta)_{ikl}$: efeito da interação entre manejo, época e profundidade

$(\beta\gamma\delta)_{jkl}$: efeito da interação entre sucessão, época e profundidade

$(\alpha\beta\gamma\delta)_{ijkl}$: efeito da interação entre manejo, sucessão, época e profundidade

$\varepsilon_{\alpha\beta\gamma\delta J}$: erro da interação entre manejo, sucessão, época e profundidade

i: níveis de manejo (α)

j: níveis de sucessão (β)

k: níveis de época (γ)

l: níveis de profundidade (δ)

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Carbono orgânico do solo

5.1.1 Teor de carbono do solo nos manejos e épocas, em cada profundidade

Houve interação entre manejo, época e profundidade do solo para os teores de carbono orgânico (Tabela 4). Na época chuvosa/2015, não houve diferença entre os manejos na profundidade de 0-10 cm. Na época da seca/2015, o carbono orgânico foi maior no solo sob PDC e menor no PRT. Na época chuvosa/2016, o teor de carbono foi maior no solo sob PDC e menor no PRA. Na época da seca/2016, o carbono no solo do PDC foi maior que o do PDA e o PRT, apresentou o menor carbono orgânico.

Tabela 4. Teor de carbono orgânico do solo (COS g kg^{-1}solo) em um Latossolo Vermelho-Amarelo sob diferentes manejos, épocas e profundidades. Rolim de Moura/RO

MANEJOS	Época chuvosa/2015	Época da Seca/2015	Época chuvosa/2016	Época da Seca/2016
	COS (g kg^{-1}solo)			
	0 - 10 cm			
PDA	18,50 aA**α**	15,90 bB**α**	15,33 bB**α**	16,24 bB**α**
PDC	18,61 aA**α**	18,35 aA**α**	16,98 aB**α**	17,87 aAB**α**
PRA	19,07 aA**α**	15,12 bC**α**	14,02 cC**α**	17,01 abB**α**
PRT	18,15 aA**α**	13,72 cC**α**	15,38 bB**α**	14,51 cB**α**
	10 - 20 cm			
PDA	15,71 bA**β**	15,00 aAB**α**	13,39 aB**β**	14,46 aB**β**
PDC	17,01 aA**β**	13,96 aB**β**	12,15 bC**β**	14,29 aB**β**
PRA	14,99 bA**β**	12,46 bB**β**	13,24 aB**α**	14,96 aA**β**
PRT	14,91 bA**β**	11,76 bC**β**	13,22 abB**β**	14,20 aAB**α**

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste t LSD a 5% de probabilidade. As letras minúsculas comparam médias na coluna, as maiúsculas na linha e as letras gregas no mesmo manejo e na mesma época e profundidades diferentes. PDA: plantio direto alternativo; PDC: plantio direto contínuo; PRA: preparo alternativo, PRT: Preparo tradicional. CV: 16,07**%**, Média geral: 15,36.

Para o carbono orgânico na profundidade de 10-20 cm (Tabela 4), na época chuvosa/2015, o solo do manejo PDC teve o maior teor quando comparado aos demais manejos, os quais não diferiram entre si. Na época da seca/2015, o solo sob PDA e sob PDC não diferiram e foram superiores ao PRA e PRT, ambos sem diferença entre si. Na época chuvosa/2016 os

teores foram maiores no solo sob PDA e PRA e o menor no PDC, sendo que o solo sob PRT não diferiu dos demais tratamentos. Na última época avaliada (época da seca/2016) não houve diferença entre os tratamentos para o carbono orgânico.

Dentre os manejos agrícolas do solo, o PDC foi um dos que mais acumulou carbono orgânico, tanto na profundidade 0-10 como em 10-20 cm (Tabela 4). Esses teores mais elevados de carbono orgânico sob sistema plantio direto são atribuídos ao não revolvimento do solo, o que permite a manutenção dos restos de culturas provenientes da safra e safrinha, que contribuem para o estoque de carbono do solo.

O carbono no solo varia de acordo com os usos e manejos a ele dispensados (AUTRET et al., 2016). Em área de vegetação nativa o carbono orgânico do solo tende a um ponto de equilíbrio e varia pouco no decorrer do tempo. Se essa vegetação nativa for substituída por sistemas de produção agrícola utilizando manejos conservacionistas, como o sistema plantio direto, sistemas agroflorestais e sistemas que integram lavoura-pecuária-floresta, existe uma tendência que aconteça maior acúmulo de carbono, devido ao maior aporte de fitomassa acumulada na superfície do solo e ao grande volume de solo explorado por sistemas radiculares com diferentes arquiteturas (CIDIN et al., 2016).

Incrementos dos estoques de carbono são reforçados pelos sistemas de manejo com menor perturbação do solo e com alta capacidade de entrada de resíduos (BATLLE-BAYER et al., 2010; CARVALHO et al., 2010; AUTRET et al., 2016). O sistema plantio direto, que tem como premissa a ausência de revolvimento do solo e a manutenção da palhada sobre o solo, se destaca no armazenamento de carbono no solo quando comparado a outros sistemas de manejos agrícolas. No solo, o conteúdo de carbono além de melhorar a qualidade por meio das interações existentes com os atributos físicos, químicos e biológicos (BORDONAL et al., 2017), é de grande importância no sequestro de CO_2 atmosférico, contribuindo para mitigação dos efeitos adversos da mudança da fronteira agrícola no bioma Amazônia (MAIA et al., 2013).

Os solos sob os sistemas de manejo com revolvimento (PRA e PRT) foram os que apresentaram menores teores de carbono orgânico (Tabela 4). Sistemas com revolvimento do solo e com o uso intenso de máquinas agrícolas, além do desflorestamento e da queima da fitomassa, comprometem as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo e contribuem para as mudanças climáticas (RANGEL, SILVA, 2007).

O manejo PRT possibilitou menor acúmulo de carbono, pois os resíduos foram incorporados e distribuídos no solo até a profundidade alcançada pelos discos. Isso permitiu o aumento da aeração e da temperatura e facilitou a degradação e posterior decomposição desse material. Além disso, o revolvimento do solo com o uso de arados e grades, prática comum no

preparo convencional, causa quebra dos agregados do solo, causando exposição do material orgânico que estava protegido no interior desses agregados, aos processos microbianos que podem desencadear perda acelerada de carbono orgânico (SOUZA et al., 2014; BORDONAL et al., 2017). O efeito principal de práticas agrícolas que não revolvam o solo está na sua capacidade de permitir um aumento na formação e estabilização de formas de carbono em nível mais recalcitrante dentro de microagregados (CORBEELS et al., 2016).

Tem-se observado maior acúmulo de carbono orgânico em solos sob sistema plantio direto quando comparado ao preparo convencional e ao cultivo mínimo, em experimentos de longa duração em regiões tropicais e subtropicais (SÁ et al., 2013). Para Tivet et al. (2013), tanto em regiões tropicais como subtropicais, existe um elevado potencial do sistema plantio direto na restauração do carbono orgânico do solo em áreas onde a vegetação nativa foi substituída pela agricultura com o uso de preparo convencional do solo. No entanto, reforçam que a magnitude dessa recuperação depende diretamente da entrada de biomassa no sistema.

Babujia et al. (2010), ao avaliarem o carbono orgânico em experimento de longa duração sob sistema plantio direto e preparo convencional, também encontraram menores teores de carbono no solo sob preparo convencional, em relação ao sistema plantio direto, apesar de não ter encontrado diferença entre os dois sistemas na profundidade de solo de 0 até 20 cm.

Após dois anos de implantação do sistema plantio direto sob Latossolo Vermelho-Amarelo em Minas Gerais, os solos sob esse sistema apresentaram maior carbono na profundidade de 0-10 cm, especialmente quando cultivados com milho e sorgo, em comparação com os solos sob preparo convencional (SALES et al., 2017).

Os sistemas conservacionistas por apresentarem melhores condições físicas ao solo contribuem na proteção física da matéria orgânica e preservam-na dentro dos agregados. O comportamento do acúmulo de carbono no solo de regiões tropicais como a Amazônia ainda necessita de maiores investigações, sobretudo no que diz respeito a estudos de longa duração. Como afirmam Maia et al. (2010) as respostas do carbono orgânico do solo frente aos diferentes manejos e condições climáticas sofrem uma grande variação, o que contribui para uma considerável incerteza indicando que não existe uma clara compreensão do impacto dessa mudança de uso do solo.

Na comparação entre as épocas dentro do mesmo manejo e profundidade (Tabela 4), na profundidade de 0-10 cm, o teor de carbono orgânico do solo no manejo PDA foi maior na época chuvosa/2015 e não diferiu entre as demais épocas. O solo sob PDC apresentou maiores teores nas duas épocas de 2015, em relação à época chuvosa/2016. No PRA o maior teor de

carbono foi na época chuvosa/2015, e os menores teores foram encontrados na época da seca/2015 e na época chuvosa/2016. No manejo PRT, a época chuvosa/2015 teve maior teor de carbono, ficando a época da seca/2015 com o menor teor.

Na profundidade de 10-20 cm, no PDA o teor de carbono foi maior na época chuvosa/2015, em relação as duas épocas de 2016 (Tabela 4). No PDC o teor foi maior na época chuvosa/2015, e menor na época chuvosa/2016. Para o PRA, os maiores teores foram na época chuvosa/2015 e seca/2016, e no PRT o teor de carbono foi maior na época chuvosa/2015 quando comparado a seca/2015 e a chuvosa/2016.

De forma geral, o solo dos manejos PDA, PRA e PRT, na profundidade de 0-10 cm, e o PDA e o PDC na profundidade de 10-20 cm, os teores de carbono orgânico do solo foram maiores na primeira época, em relação aos teores das demais épocas (Tabela 4). Para os manejos PDC em 0-10 cm e PRA e PRT de 10-20 cm, houve uma recuperação nos teores de carbono na última época, quando comparada a primeira.

Era esperado um incremento no carbono orgânico do solo com o passar do tempo para os manejos conservacionistas, devido a ausência de revolvimento do solo, aporte constante de resíduos adicionados pelas culturas e maior quantidade de biomassa vegetal, disponível para os microrganismos do solo transformarem em carbono orgânico. Provavelmente, a quantidade de resíduos não foi suficiente para aumentar o teor de carbono do solo e a alta temperatura e umidade propiciaram mineralização da matéria orgânica existente na área.

Na última época avaliada, a adição de biomassa ao solo aliada ao não revolvimento proporcionado pelo sistema plantio direto permitiu uma recuperação nos teores de carbono do solo, indicando o início de uma nova fase de equilíbrio. Para os manejos PRA e PRT devido à inversão das camadas de solo no preparo, a palhada que estava na superfície foi, provavelmente, transferida para a camada subsuperficial e ao sofrer ataque microbiano aumentou o teor de carbono na profundidade de 10-20 cm.

Ao comparar os teores de carbono orgânico entre as profundidades (Tabela 4) dentro do mesmo manejo e época de avaliação, com exceção do PDA no período seco/2015, do PRA na época chuvosa/2016 e do PRT na seca/2016 que não apresentaram diferenças entre as profundidades, os demais tratamentos apresentaram maiores teores de carbono orgânico na profundidade de 0-10 cm, ou seja, na camada superficial do solo.

De maneira geral os processos bioquímicos que envolvem as transformações matéria orgânica e, consequentemente, do carbono orgânico, como a decomposição dos resíduos, imobilização e mineralização do carbono, bem como a ciclagem de nutrientes, acontecem mais

próximo à superfície do solo (MARINHO et al., 2017). Dessa maneira é esperado que ocorra diminuição do carbono orgânico do solo com o aumento da profundidade.

Maiores teores de carbono são esperados na camada superficial do solo devido à presença de material em diferentes estádios de decomposição que se acumulam pela adição dos resíduos das culturais após a colheita, principalmente quando são empregados manejos mais conservacionistas (SOUZA et al., 2016). De acordo com Carvalho et al. (2007) e Corbeels et al. (2016) o carbono orgânico é maior no sistema plantio direto nas camadas superficiais do solo, diminuindo em profundidade, o que reflete a maior deposição de resíduos culturais na superfície, bem como a distribuição das raízes. Com o tempo de uso desse manejo é esperado também um aumento do carbono nas camadas mais profundas do solo (PORTUGAL et al., 2008), devido às condições favoráveis ao desenvolvimento do sistema radicular e do aumento da atividade microbiana.

As diferenças entre as profundidades corroboram com estudos de Carvalho et al. (2007) que encontraram maiores teores de carbono orgânico na camada superficial do solo (0-10 cm) sob sistema plantio direto com diferentes anos de implantação, em Latossolo Vermelho-Amarelo da região de Vilhena/RO. Souza et al. (2016) ao compararem sistemas plantio direto com diferentes épocas de implantação, observaram maior carbono orgânico em Plintossolo Háplico até a profundidade de 7,5 cm diminuindo depois com o aumento da profundidade. Esse resultado não se deve apenas a deposição de fitomassa, mas também pela manutenção da estrutura do solo sob sistema plantio direto.

De acordo com Hickmann et al. (2012), o sistema plantio direto tem a capacidade de restabelecer o equilíbrio natural do carbono do solo nos primeiros 10 cm, com recuperação de 90,4% do carbono perdido pelo uso do preparo convencional do solo, após a derrubada da floresta nativa, em Minas Gerais.

Comparando o solo do manejo PRT entre as profundidades (Tabela 4), com exceção da época da seca/2016, os maiores teores de carbono foram encontrados na profundidade de 0-10 cm. Esse comportamento não era esperado, pois com o revolvimento do solo há inversão e homogeneização das camadas pelo uso dos implementos agrícolas, consequentemente, os resíduos vão deixando mais uniforme o perfil do solo. Nunes et al. (2011) e Sá et al. (2013) encontraram uma distribuição homogênea do carbono orgânico na profundidade de 0-20 cm no preparo convencional devido ao efeito de sucessivas arações e gradagens e uma estratificação entre as profundidades com maior teor na camada superficial, para o sistema plantio direto, em dois Latossolos Vermelhos, em Planaltina e Ponta Grossa.

5.1.2 Teor de carbono orgânico do solo em diferentes manejos agrícolas, sucessões e épocas

Houve interação entre manejos do solo, sucessão de culturas e época de avaliação para carbono orgânico do solo. Na avaliação dos manejos dentro de cada sucessão (Tabela 5), para a primeira época avaliada (época chuvosa/2015), nas combinações milho/caupi e milho/milho o carbono orgânico foi maior no solo sob manejo PDC, sendo que os demais manejos não diferiram entre si. Na sucessão soja/caupi o carbono foi menor no solo do manejo com revolvimento PRT, não havendo diferença entre os demais. Na sucessão soja/milho o solo do manejo PDC apresentou maior teor em relação ao PRA e PRT.

Na época da seca/2015, o solo do manejo PDA teve destaque entre os manejos com maior teor de carbono, e os manejos com revolvimento do solo apresentaram os menores teores. Nessa época o solo da sucessão milho/milho apresentou maior teor de carbono orgânico no manejo PDC que diferiu dos demais e o PRT teve o menor teor. O solo da sucessão soja/caupi teve maior teor de carbono orgânico no manejo PDC e os menores nos manejos com revolvimento (PRA e PRT). Na sucessão soja/milho, os solos dos tratamentos sem revolvimento apresentaram mais carbono e diferiram dos com revolvimento (PRA e PRT).

Na terceira época amostrada, na sucessão milho/caupi o solo do PDC apresentou maior teor de carbono orgânico em relação ao PDA e PRA. No milho/milho houve diferença entre PRA e PRT, com mais carbono no PRA. Na sucessão soja/caupi houve diferença entre o carbono do solo sob manejo PRT com o do PDA e do PRA, que apresentou o menor teor. Na sucessão soja/milho o solo do PDA foi maior que o PRA e o PRT, ambos sem diferença entre si.

Na época da seca/2016, para a sucessão milho/caupi os solos sob manejos conservacionistas apresentaram mais carbono orgânico quando comparado ao PRT. Na sucessão milho/milho o PDC apresentou maior teor de carbono orgânico que o PDA e do PRT. Na sucessão soja/caupi o teor de carbono foi maior no solo do manejo PRA. Na sucessão soja/milho o PRT que apresentou menor teor de carbono orgânico do solo.

O manejo conservacionista PDC, de maneira geral, propiciou os maiores teores de carbono orgânico no solo, independentemente da época e da sucessão de culturas. Esses resultados estão de acordo com Sá et al. (2001), ao afirmarem que em sistemas de manejo como o plantio direto, a ausência de revolvimento, aliada à rotação de culturas e a permanência dos resíduos das culturas sobre o solo, favorecem a agregação que por sua vez protege a matéria orgânica da rápida mineralização. Sá et al. (2013) encontraram maiores teores de carbono sob

sistema plantio direto, onde havia predomínio de gramíneas quando comparado ao preparo convencional, em Lucas do Rio Verde/MT.

Tabela 5. Teor de carbono orgânico do solo (COS g.kg^{-1}solo) em Latossolo Vermelho-Amarelo, sob diferentes sistemas de manejos, sucessões de culturas e épocas de amostragem (média das profundidades). Rolim de Moura/RO

MANEJOS	Milho/Caupi	Milho/Milho	Soja/Caupi	Soja/Milho
	COS (g kg^{-1}solo)			
	ÉPOCA CHUVOSA/2015			
PDA	16,99 bA**α**	16,75 bA**α**	17,77 aA**α**	16,90 abA**α**
PDC	18,36 aA**α**	18,49 aA**α**	16,80 aB**α**	17,58 aAB**α**
PRA	16,91 bA**α**	17,17 bA**α**	17,69 aA**α**	16,36 bB**α**
PRT	16,80 bAB**α**	17,38 bA**α**	15,88 bB**α**	16,06 b**α**
	ÉPOCA DA SECA/2015			
PDA	16,33 aA**α**	14,95 bB**β**	15,42 bAB**β**	15,116 aB**β**
PDC	14,64 bB**β**	17,14 aA**β**	17,79 aA**α**	15,06 aB**β**
PRA	13,38 cBγ	15,22 bA**β**	13,69 cB**β**	12,86 bBγ
PRT	13,17 cAγ	12,11 cBγ	12,73 cAB**β**	12,94 bAB**β**
	ÉPOCA CHUVOSA/2016			
PDA	13,71 bB**β**	14,99 abA**β**	13,81 bBγ	14,93 aA**β**
PDC	14,89 aA**β**	15,05 abAγ	14,08 abAγ	14,24 abA**β**
PRA	13,81 bBγ**β**	15,66 aA**β**	12,36 cCγ	12,69 bCγ
PRT	14,73 abA**β**	14,11 bA**β**	14,95 aA**α**	13,42 bB**β**
	ÉPCA DA SECA/2016			
PDA	16,42 aA**α**	15,47 bAB**β**	14,69 cB**β**γ	14,81 aB**β**
PDC	15,32 abB**β**	18,09 aA**αβ**	15,99 bB**β**	14,91 aB**β**
PRA	15,23 bB**β**	16,84 abA**α**	17,14 aA**α**	14,73 abB**β**
PRT	13,85 cB**β**γ	14,62 bAB**β**	15,26 bcA**α**	13,69 bB**β**

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste t LSD a 5% de probabilidade. As letras minúsculas comparam médias na coluna, as maiúsculas na linha e as letras gregas no mesmo manejo e na mesma sucessão e épocas diferentes. PDA: plantio direto alternativo; PDC: plantio direto contínuo; PRA: preparo alternativo, PRT: Preparo tradicional. CV: 16,07**%**, Média geral: 15,36.

Independentemente da produção de fitomassa da sucessão a que estava submetido, as áreas sob manejo PRT foram as que menos carbono do solo apresentaram (com exceção na sucessão milho/caupi e soja/caupi, ambas na época chuvosa/2016), seguida do solo sob PRA, demonstrando que, provavelmente, o manejo do solo influenciou mais o teor de carbono do que o aporte de biomassa vegetal. No entanto, a utilização de culturas com alta capacidade de produção de biomassa aérea e radicular são de extrema importância para a agricultura que ainda

utiliza preparo convencional do solo, por promoverem aumentos nas entradas de carbono no solo (POLSOW et al., 2016).

O aumento do carbono orgânico do solo em áreas com preparos conservacionistas está associado a sistemas de cultivo intensivo, sendo as entradas de carbono o principal fator responsável pelos incrementos no estoque de carbono (MIRANDA et al., 2016). Seguindo essa tendência, Lemos et al. (2016) afirmaram que o aporte de resíduos oriundos da parte aérea e das raízes, geralmente, são a principal fonte de carbono nos solos, apontando como uma preocupação da pesquisa atual a identificação de sistemas de uso e manejo do solo que promovam a manutenção e/ou o aumento dos teores de carbono do solo.

Ao analisar os teores de carbono orgânico do solo no ano de 2015 e na época chuvosa, no manejo PDA não houve diferença entre as sucessões (Tabela 5). No PDC, os teores de carbono orgânico foram maiores no solo das sucessões milho/caupi e milho/milho, em relação a sucessão a sucessão soja/caupi. No PRA a sucessão soja/milho apresentou menor teor de carbono que as demais. E, no PRT, a sucessão milho/milho foi maior que soja/caupi e soja/milho.

Na época da seca/2015 no manejo PDA, o teor de carbono foi maior no solo da sucessão milho/caupi do que em milho/milho e soja/milho. O manejo PDC apresentou maior teor de carbono orgânico nas sucessões milho/milho e soja/caupi. No manejo PRA o carbono foi maior na sucessão milho/milho e, no PRT a sucessão milho/caupi apresentou maior teor de carbono do que na sucessão milho/milho.

Na época chuvosa/2016, o solo das sucessões milho/milho e soja/milho no manejo PDA, apresentaram maior teor de carbono orgânico que as demais sucessões. No manejo PDC não houve diferença entre as sucessões. No PRA o maior teor foi encontrado na sucessão milho/milho e os menores nas sucessões soja/caupi e soja/milho. No PRT a sucessão soja/milho apresentou o menor teor de carbono orgânico em relação as demais sucessões. Na época da seca/2016, o carbono no manejo PDA foi maior na sucessão milho/caupi que nas sucessões soja/caupi e soja/milho. No PDC a sucessão milho/milho apresentou o maior teor de carbono. No manejo PRA, a sucessão milho/milho e soja/caupi apresentaram maiores teores de carbono orgânico. No PRT, o maior teor de carbono foi na sucessão soja/caupi em relação as sucessões milho/caupi e soja/milho.

A análise das médias de cada sucessão (Tabela 5) dentro do mesmo manejo permite inferir, independentemente da época avaliada, que a sucessão milho/milho foi a que apresentou mais vezes, maiores teores de carbono orgânico do solo. Provavelmente, devido às maiores quantidades de resíduos quando comparada as demais sucessões. Os sistemas de cultivo que

proporcionam uma elevada entrada de biomassa vegetal contribuem na manutenção de uma cobertura permanente do solo, tendo a capacidade de chegar a condições semelhantes às dos ecossistemas não perturbados, como florestas, savanas e campos naturais (SÁ et al., 2015). Estes sistemas de cultivo, segundo os autores, suportam um fluxo contínuo de massa e energia, liberando compostos orgânicos em grandes quantidades, o que contribui para acentuar a biodiversidade do solo e aumentar a matéria orgânica.

A contribuição das culturas de cobertura e das rotações de culturas no aumento do carbono do solo em ambientes tropicais e subtropicais ainda não está bem definida (CAMPOS et al., 2011). Principalmente porque nas pesquisas sobre práticas em agricultura de conservação tem sido enfatizado os manejos do solo e pouco tem se discutido sobre os incrementos proporcionados pela rotação de culturas (POLSOW et al., 2016). Em relação ao comportamento da combinação de plantas dentro do sistema plantio direto, apesar das inúmeras pesquisas confirmando os benefícios do sistema sobre o carbono orgânico do solo, ainda pouco se conhece sobre o efeito da sucessão e/ou rotação das culturas utilizadas nesse tipo de manejo do solo (RAPHAEL et al., 2016).

Já a sucessão soja/milho foi a que menos vezes se destacou no armazenamento de carbono orgânico. O aumento do carbono e da matéria orgânica do solo é estimulado pela entrada de nitrogênio no solo, desencadeando maior produção de fitomassa e, consequentemente, maior quantidade de resíduos deixados no sistema (RAPHAEL et al., 2016). Nessa sucessão, a soja foi substituída na safrinha pelo milho em consórcio com a braquiária na safrinha e devido à resposta positiva do milho à presença de nitrogênio fixado pela soja, e pela habilidade da braquiária em produzir matéria seca, era esperado que essa sucessão promovesse ganhos maiores de carbono orgânico no solo. O uso de gramíneas em sistema plantio direto aumenta a produção de resíduos deixados no solo, devido ao sistema radicular ser mais denso, consequentemente, aumenta os teores de carbono do solo, especialmente se leguminosas forem incluídas na rotação (ALVAREZ et al., 2014).

A diversificação de culturas, umas das premissas da agricultura conservacionista, proporciona aumento de transferência de carbono da atmosfera para o solo. Essa contribuição aumenta se forem usadas leguminosas consorciadas com milho, ou com o plantio de uma cultura adicional implantada no período em que o solo ficaria em pousio (POLSOW et al., 2016).

O solo é um sistema aberto que concentra os resíduos orgânicos da flora e da fauna, bem como os produtos de sua transformação. A entrada de carbono no solo aumenta com a diversificação dos sistemas de cultivo, sendo que o tipo de vegetação e as condições ambientais

a que esse material é exposto é que determinam a quantidade e qualidade dos resíduos (MELO et al., 2012).

Em pesquisas realizadas na região subtropical do país, a sucessão de culturas usando soja/trigo forneceu baixas entradas de carbono. Quando foram usadas plantas de cobertura ou culturas intercalares como as leguminosas tremoço e ervilhaca, além do nabo forrageiro e da aveia preta, o aporte de carbono no solo foi maior (DIECKOW et al., 2005; FRANCHINI et al., 2007). Apesar dos agricultores saberem da importância das plantas de cobertura, nem sempre é lucrativo para eles perderem uma safra de culturas com retorno econômico, tendo como consequência a não adoção dessa prática (BABUJIA et al., 2010).

Como a tendência da agricultura sustentável é produzir mais alimentos, utilizando menores áreas e aproveitando de maneira mais eficiente os recursos naturais, de forma a causar o mínimo de impacto sobre o ambiente, existe a necessidade imediata de investir no cultivo da safrinha utilizando a combinação de culturas com pastagens ou culturas de cobertura (DUVAL et al., 2016). Especial enfoque deve ser dado às leguminosas que, ao proporcionarem aumentos de carbono e nitrogênio ao solo, contribuem na redução dos custos com fertilizantes nitrogenados requeridos pelas culturas (HICKMANN et al., 2016).

A safrinha ou segunda safra, na mesma temporada, proporcionou aumento na quantidade de carbono orgânico nos solos do Cerrado, devido a maior quantidade de resíduos de culturas e raízes deixados, contribuindo também para uma maior estabilização desse carbono por meio do aumento da agregação do solo, além de benefícios na ciclagem de nutrientes (CORBEELS et al., 2016).

A entrada de carbono no sistema deve ser de forma contínua, sendo fundamental para aumentar ou manter o estoque de carbono no solo, sob determinado sistema de cultivo, solo e clima (LUO et al., 2016). No entanto, as entradas de carbono são muito sensíveis às mudanças nos manejos, como a retenção de resíduos e a aplicação de fertilizantes, devido ao seu impacto direto sobre a produção de resíduos.

O acúmulo de matéria orgânica favorecido por manejos conservacionistas, promovido pela ação dos microrganismos sobre os resíduos deixados no solo, especialmente quando são utilizadas leguminosas e gramíneas tropicais desempenha, um papel fundamental para a manutenção das funções do solo, entre elas a manutenção da estrutura e ciclagem de nutrientes (CARVALHO et al., 2014).

A estratégia de restaurar as funções do solo deve se basear em práticas agrícolas e ecológicas que adicionem carbono, tanto pela vegetação, parte aérea e raízes, como pela entrada de resíduos orgânicos (MILNE et al., 2015). A influência das espécies acontece devido a sua

contribuição na qualidade da matéria orgânica pela sua composição e características intrínsecas, pela arquitetura e quantidade de raízes e pela influência na microbiota do solo, a qual é responsável pelas transformações e acúmulo da matéria orgânica (TIVET et al., 2013).

A combinação de culturas com padrões diferenciados de enraizamento, somados à mínima perturbação do solo no sistema plantio direto, trazem inúmeros benefícios. Dentre eles estão a promoção de uma rede mais extensa de pequenos canais proporcionados pelo crescimento das raízes e inúmeros macroporos, os quais auxiliam na infiltração de água para profundidades maiores (HOBBS et al., 2008).

Um aspecto importante que deve ser levado em consideração na escolha das espécies utilizadas na Região Amazônica, caracterizada pela alta umidade e temperatura, é a rápida decomposição da palhada que dificulta a manutenção de uma cobertura uniforme na superfície do solo. Sendo assim, a escolha de espécies com capacidade de alto aporte de resíduos e mais resistentes à decomposição assume grande importância.

As tentativas para aumentar as entradas de carbono devem incluir variedades melhoradas com maior biomassa de raízes e mais profundas para propiciar incremento de carbono em profundidade, combinações de plantas na rotação com alta capacidade de produção de resíduos, maior retenção desses resíduos pela ausência de perturbação do solo e o emprego, quando possível, de culturas de cobertura que possam fornecer carbono ao longo do ano (PAUSTIAN et al., 2016).

No manejo PDA, o solo da sucessão milho/caupi apresentou menor teor de carbono orgânico na época chuvosa/2016. Na sucessão milho/milho, soja/caupi e soja/milho os teores de carbono orgânico foram maiores na época chuvosa/2015. No manejo PDC, os teores de carbono orgânico do solo nas sucessões milho/caupi, milho/milho e soja/milho foram maiores na época chuvosa/2015, ficando a sucessão soja/caupi com maiores teores de carbono nas duas épocas de 2015. Para o PRA nas sucessões milho/caupi e soja/milho os maiores teores foram na época chuvosa/2015, sendo que para milho/milho e soja/caupi foram maiores nas épocas chuvosa/2015 e da seca/2016. Para o manejo PRT, os solos das sucessões milho/caupi, milho/milho e soja/milho apresentaram maiores teores de carbono na época chuvosa/2015. A sucessão soja/caupi apresentou menor teor de carbono na época chuvosa/2015.

De maneira geral, em todas as sucessões houve uma redução do carbono orgânico do solo, independentemente dos manejos utilizados, quando comparados a primeira época de avaliação, época chuvosa/2015 (Tabela 5). Em algumas combinações de manejos e sucessões, foi possível recuperar os teores de carbono na última avaliação, na época da seca/2016, aproximando aos teores encontrados na época chuvosa/2015. Dentre esses, temos o PDA na

sucessão milho/caupi; o PRA na sucessão milho/milho e o PRA e o PRT na sucessão soja/caupi. Dependendo do manejo utilizado, o teor de carbono pode ser incrementado ao longo do tempo, justificando a importância de experimentos de longa duração para o entendimento do fator tempo na melhoria da qualidade do solo (SOUZA et al., 2014).

No sistema plantio direto são esperados incrementos nos teores de carbono orgânico, dependendo do clima, tipo de solo e plantas cultivadas, 10 a 15 anos após a conversão do preparo convencional do solo para o sistema plantio direto (ROSSET et al., 2016).

Apesar da redução do carbono orgânico do solo, mesmo nas áreas sob sistema plantio direto, para reverter o processo de oxidação da matéria orgânica do solo e aumentar o carbono orgânico é necessário o emprego de técnicas conservacionistas, como as do sistema plantio direto, para melhorar a qualidade química, física e biológica do solo. Dentre os benefícios estão a proteção química dos compostos orgânicos, pelas interações destes com os minerais do solo, dificultando a oxidação pela microbiota do solo, e a proteção física contra a decomposição microbiana, favorecida pela oclusão do carbono no interior dos agregados (VEZZANI, MIELNICZUK, 2011).

Além dos manejos conservacionistas é importante escolher adequadamente as plantas que farão parte da sucessão e rotação de culturas, pois características como capacidade de aporte de resíduos, duração do ciclo, arquitetura da parte aérea e radicular, influenciam nos teores de carbono orgânico do solo (ZINN et al., 2005).

5.1.3 Teor de carbono orgânico do solo sob floresta e pastagem

Houve interação entre épocas de amostragem e profundidade para o carbono orgânico do solo na comparação entre floresta e pastagem (Tabela 6). Para a floresta, na profundidade de 0-10 cm, o maior teor de carbono foi encontrado na época chuvosa/2015 e na seca/2016 e, na profundidade de 10-20 cm na época chuvosa/2016. Comparando o carbono orgânico do solo sob floresta entre as profundidades, exceto na época da seca/2016 onde não houve diferença, o carbono sempre foi maior na profundidade de 0-10 cm.

Na pastagem, na profundidade de 0-10 cm, o carbono orgânico do solo foi maior na época chuvosa/2015 e da seca/2016 (Tabela 6). Na profundidade de 10-20 cm, o teor de carbono foi maior na época chuvosa/2015. Na época chuvosa/2015 e da seca/2016 o teor de carbono foi maior na profundidade de 0-10 cm, na época chuvosa/2015 foi em 10-20 cm e na época chuvosa/2016 não houve diferença entre as profundidades.

Tabela 6. Teor de carbono orgânico do solo (COS g.kg^{-1}solo) na floresta e na pastagem, em Latossolo Vermelho-Amarelo, em diferentes épocas e profundidades de amostragem. Rolim de Moura/RO

ÉPOCAS	0-10 cm	10-20 cm
	(COS g.kg^{-1}solo)	
	FLORESTA	
Época chuvosa/2015	20,97 aA**α**	16,59 bB**α**
Época da seca/2015	17,32 bA**α**	14,88 cB**α**
Época chuvosa /2016	15,56 cA**α**	13,78 cB**α**
Época da seca /2016	19,77 aA**α**	18,23 aA**α**
	PASTAGEM	
Época chuvosa/2015	15,39 aB**β**	17,47 aA**α**
Época da seca/2015	13,52 bA**β**	10,73 cB**β**
Época chuvosa /2016	13,76 bA**β**	11,64 cB**β**
Época da seca /2016	15,37 aA**β**	14,52 bA**β**

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste t LSD a 5% de probabilidade. As letras minúsculas comparam médias na coluna, as maiúsculas na linha e as letras gregas na mesma época e mesma profundidade, mas em usos diferentes. CV: 18,32**%**, Média: 15,52.

Comparando o carbono orgânico na mesma profundidade e época, mas em usos diferentes (Tabela 6), com exceção da época chuvosa/2015 onde não houve diferença, os teores de carbono orgânico do solo sempre foram maiores no solo da floresta quando comparados ao da pastagem. Apesar de não haver revolvimento em ambas as áreas, eram esperados maiores teores de carbono orgânico do solo na área de floresta devido ao maior aporte de resíduos vegetais depositado pela floresta, em relação a área de pastagem.

Os maiores teores de carbono orgânico do solo tanto para floresta como pastagem, nas duas profundidades, foram maiores na primeira época de avaliação, diminuíram nas duas épocas seguintes e novamente aumentaram na última época. A distribuição de carbono orgânico no perfil do solo é impulsionada pela quantidade de material orgânico deixada na superfície do solo, que incorpora carbono principalmente nos primeiros centímetros, além da distribuição das raízes da planta e dos organismos do solo, que também têm maior concentração nas camadas superficiais (MARINHO et al., 2017).

A conversão da floresta para pastagens do gênero braquiária promoveu decréscimo no carbono do solo. De maneira geral, as reduções com essa mudança de uso do solo variaram entre 14 e 27%. Esses teores ficaram próximos aos encontrados por Henrique (2016) e Mikos (2017) em trabalhos desenvolvidos em solos sob diferentes usos em Rondônia. Os autores afirmam que em solos sob cultivo, com histórico de revolvimento e muitos anos de uso sem

manejo adequado, apresentam decréscimo no carbono orgânico do solo em comparação com os solos de mata.

Estoques de carbono orgânico são reforçados por sistemas de manejo do solo que causem menos perturbação e envolvam entrada contínua de resíduos e, são esgotados por sistemas onde o uso do solo é intensivo e sem manejo adequado (MAIA et al., 2010). Nas áreas sob pastagem, apesar de não ocorrer mobilização do solo, devido à falta de práticas de fertilização e correção e pela constante presença de animais em pastejo, não há produção de quantidade satisfatória de biomassa vegetal que dê suporte adequado a esse pastejo e tampouco acumule resíduos para ser convertido a carbono orgânico do solo.

Do ponto de vista ambiental, as pastagens quando estão degradadas, pela falta de manejo adequado, são consideradas fontes emissoras de gás carbônico. A mitigação desse efeito deve ser realizada por meio da sua recuperação, pois pastagens bem manejadas podem estocar carbono orgânico, evitando sua liberação para a atmosfera (JAKELAITIS et al., 2008; SIQUEIRA NETO et al., 2009; GUARESCHI et al., 2012; HENRIQUE, 2016; MIKOS, 2017).

Independentemente da época avaliada, os teores de carbono do solo foram menores no solo sob pastagem em relação ao solo sob floresta (Tabela 6). A área de pastagem teve sua implantação há mais de vinte anos e, apesar de estar sendo constantemente utilizada para pastejo de bovinos, não recebeu práticas adequadas de manejo que pudessem melhorar os atributos químicos e físicos do solo. A derrubada da floresta para implantação de pastagem ou lavoura de soja no Sul da Amazônia, resultou em mudanças nos atributos químicos e biológicos do solo (LAMMEL, et al., 2015).

Na conversão da vegetação nativa para pastagens, Carvalho et al. (2010) confirmaram diferença no carbono orgânico armazenado no solo em pastagens degradadas e não degradadas nos biomas Amazônia e Cerrado. Em pastagens não degradadas e sem limitações de fertilidade do solo, os teores de carbono orgânico foram iguais ou maiores, porém em pastagem cultivada em solo de baixa fertilidade e com sinais de degradação, houve redução dos teores de carbono orgânico. Situações de baixa fertilidade e manejo inadequado das pastagens resultam em baixa produção de biomassa com consequente redução do aporte de resíduos vegetais no solo e, acarretam diminuição dos teores de carbono orgânico.

5.1.4 Teor de carbono orgânico do solo de floresta, pastagem e manejos agrícolas

A conversão da floresta para o sistema de produção agrícola provoca reduções nos teores de carbono orgânico do solo em 61% das combinações entre manejo, sucessão e época, na profundidade de 0-10 cm (Tabela 7). O percentual de redução do carbono do solo variou de 7,5 a 28,31% e, de maneira geral, essa redução esteve associada aos manejos que envolvem revolvimento do solo. Os aumentos nos teores de carbono orgânico, nessa profundidade, aconteceram no solo sob manejo PDC, nas sucessões milho/caupi (período chuvoso/2016), milho/milho e soja/caupi (período seco/2015).

Na profundidade de 10-20 cm a redução do carbono do solo dos manejos em relação ao da floresta foi menos evidente, em torno de 30% das combinações e com reduções entre 12 e 30%. Houve decréscimo do carbono, novamente nos manejos com revolvimento do solo. O único incremento foi no solo sob manejo PDA, na sucessão milho/caupi no período seco/2015.

Cabe ressaltar que independentemente da época, sucessão e profundidade, os solos dos manejos conservacionistas foram os que mais vezes apresentaram teores de carbono orgânico do solo semelhantes aos encontrados na floresta. Em contrapartida, o carbono do solo sob PRA e o PRT diferiram mais vezes da floresta por apresentar teores mais baixos.

O sistema plantio direto é um manejo eficiente para recuperar os teores de carbono dos solos para uma condição próxima aos solos sob floresta, contribuindo dessa forma para que a agricultura seja praticada de maneira sustentável. Para que o sistema plantio direto seja eficiente, deve-se considerar três premissas para sua adoção: ausência revolvimento do solo, a sucessão ou rotação de culturas e a cobertura permanente do solo.

A redução nos teores de carbono orgânico com a mudança de uso do solo nos biomas Amazônia e Cerrado também foram encontradas por Maia et al. (2013), Henrique (2016) e Mikos (2017). As reduções ocorreram à medida que áreas de floresta e de cerradão foram convertidas para a agricultura, mesmo sob sistema plantio direto. Na mesma pesquisa, a substituição de áreas sob vegetação de Cerrado para implantação da agricultura utilizando o sistema plantio direto aumentou o carbono orgânico.

Na comparação de experimentos em três estados do Centro-Oeste e Norte do Brasil, Carvalho et al. (2010) apontaram reduções no conteúdo de carbono orgânico do solo na conversão de áreas sob floresta, cerradão e cerrado para a agricultura, sob sistema plantio direto e utilizando uma combinação de leguminosas e gramíneas na rotação.

Tabela 7. Médias dos teores de carbono orgânico do solo (COS g kg^{-1}solo) sob diferentes manejos e sucessões de culturas, em relação ao solo da floresta e da pastagem, em diferentes épocas e profundidades. Rolim de Moura/RO

MANEJOS	Milho/Caupi	Milho/Milho	Soja/Caupi	Soja/Milho	Milho/Caupi	Milho/Milho	Soja/Caupi	Soja/Milho
	COS (g kg^{-1}solo) 0-10 cm				COS (g kg^{-1}solo) 10-20 cm			
				ÉPOCA CHUVOSA/2015				
Floresta	**20,97**	**20,97**	**20,97**	**20,97**	**16,59**	**16,59**	**16,59**	**16,59**
Pastagem	**15,39**	**15,39**	**15,39**	**15,39**	**17,47**	**17,47**	**17,47**	**17,47**
PDA	18,49*α	18,50* α	18,24* α	18,77* α	15,49 α	15,00* α	17,30	15,03* α
PDC	18,85* α	20,01 α	16,94* α	18,63* α	17,87	16,97	16,66	16,54
PRA	19,32* α	19,03* α	19,88 α	18,05* α	14,50* α	15,31 α	15,50 α	14,66* α
PRT	18,36* α	19,39* α	17,67* α	17,17* α	15,24 α	15,37 α	14,09* α	14,94* α
				ÉPOCA DA SECA/2015				
Floresta	**17,32**	**17,32**	**17,32**	**17,32**	**14,88**	**14,88**	**14,88**	**14,88**
Pastagem	**13,52**	**13,52**	**13,52**	**13,52**	**10,73**	**10,73**	**10,73**	**10,73**
PDA	16,02 α	15,73* α	16,13 α	15,71* α	16,63* α	14,17 α	14,70 α	14,50 α
PDC	17,07 α	19,38* α	19,99* α	16,98 α	12,21*	14,89 α	15,61 α	13,13* α
PRA	14,70*	16,46 α	15,49* α	13,82*	12,05*	13,98 α	11,91*	11,91*
PRT	14,21*	13,76*	13,39*	13,51*	12,14*	10,47*	12,06*	12,37*
				ÉPOCA CHUVOSA/2016				
Floresta	**15,56**	**15,56**	**15,56**	**15,56**	**13,78**	**13,78**	**13,78**	**13,78**
Pastagem	**13,76**	**13,76**	**13,76**	**13,76**	**11,64**	**11,64**	**11,64**	**11,64**
PDA	14,20	16,21 α	14,29	16,62 α	13,21 α	13,78 α	13,33 α	13,24 α
PDC	17,38* α	16,68 α	16,82 α	17,04 α	12,42	13,41	11,34*	11,44*
PRA	14,82	15,92 α	13,27*	12,06* α	12,80	15,39 α	11,45*	13,33 α
PRT	16,60 α	16,17 α	14,58	14,17	12,86	12,06*	15,32 α	12,67
				ÉPOCA DA SECA/2016				
Floresta	**19,77**	**19,77**	**19,77**	**19,77**	**18,23**	**18,23**	**18,23**	**18,23**
Pastagem	**15,37**	**15,37**	**15,37**	**15,37**	**14,51**	**14,51**	**14,51**	**14,51**
PDA	18,71 α	15,81*	14,87*	15,57*	14,13	15,13	14,52	14,06
PDC	16,86*	20,23 α	17,92* α	16,47*	13,78	15,96	14,05	13,36
PRA	15,87*	17,49* α	18,11* α	16,58*	14,58	16,20 α	16,17 α	12,88 α
PRT	14,50*	14,98*	14,43*	14,15*	13,20	14,26	16,09 α	13,23

Valores na coluna seguidos de asterisco diferem da Floresta, e seguidos por α diferem da Pastagem pelo Teste de Dunnett ($p<0,05$), dentro de cada época. PDA: plantio direto alternativo; PDC: plantio direto contínuo; PRA: preparo alternativo e PRT: Preparo tradicional. CV: 16,31%. Média: 15,37.

A conversão das áreas de floresta para agricultura ou pastagem influencia o equilíbrio de carbono no solo, levando geralmente a uma redução das suas reservas pelo menor aporte de carbono ou pelo aumento das emissões de carbono para a atmosfera (LEMOS et al., 2016). Isso pode se tornar problema dependendo das condições ambientais, intensidade de cultivo e manejos adotados, bem como a natureza dos solos (RESENDE et al., 2015).

Em Latossolo Vermelho-Amarelo, em Minas Gerais, áreas de floresta convertidas para agricultura, em sistema plantio direto e preparo convencional, tiveram redução dos teores de carbono orgânico do solo em ambos os sistemas (SALES et al., 2017). Os autores atribuem esse decréscimo do carbono devido à alta temperatura do ar, uso da irrigação e uso de fertilizantes que aceleraram a oxidação do carbono e ao sistema plantio direto ter sido implantado há pouco tempo, apenas dois anos.

As mudanças de uso do solo utilizando operações de preparo que incluem o revolvimento do solo resultam na redução da proteção física da matéria orgânica e no aumento das condições favoráveis à oxidação desse material pela biomassa do solo (SOUZA et al., 2014). Além disso, solos degradados pelo cultivo e com baixos teores de carbono são muitas vezes deficientes em nitrogênio, limitando a recuperação dos estoques de carbono no solo (PORTUGAL et al., 2008), principalmente em sistemas com baixo aporte de biomassa.

Outro fator que deve ser considerado ao analisar os dados desse trabalho é o tempo de adoção desse sistema, que é de oito anos. Como o local da pesquisa está localizado na região Norte do Brasil, onde as condições climáticas ajudam a acelerar os processos de decomposição da matéria orgânica do solo, maior tempo de manejo adequado combinado com o emprego de culturas com alto aporte de biomassa são necessários para que os teores de carbono estabilizem ou aumentem no solo. Pois sistemas mais conservacionistas tendem com o tempo, a apresentar incremento na quantidade e qualidade da matéria orgânica do solo (RANGEL, SILVA, 2007; PORTUGAL et al., 2008).

Na comparação da pastagem com os manejos, houveram modificações no carbono quando os sistemas agrícolas foram implantados em 63% e 28% das combinações, respectivamente, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm (Tabela 7). Ou seja, houve maior variação na camada superficial do solo quando a pastagem foi retirada para implantação da agricultura.

Os manejos conservacionistas do solo (PDC e PDA), independentemente da época, da sucessão e da profundidade, foram os que mais vezes diferiram da pastagem. No entanto, essa diferença sempre apontou maiores teores de carbono orgânico do solo, significando uma variação de aporte entre 10 e 48%, independentemente do manejo conservacionista. Ao

contrário, os manejos com revolvimento do solo (PRA e PRT) apresentaram na profundidade de 10-20 cm situações com teores de carbono orgânico semelhantes ou menores aos da pastagem (redução entre 11 e 19%), significando baixo aporte de carbono no sistema, causado sobretudo pelo revolvimento.

A substituição de pastagens por agricultura utilizando o sistema plantio direto, aumentou o estoque de carbono e a produtividade quando comparado ao uso de práticas com revolvimento do solo, em 70% de 96 locais amostrados nos solos dos biomas Amazônia e Cerrado (MAIA et al., 2013).

Dentre as sucessões, na profundidade de 0-10 cm, o solo da sucessão milho/milho foi o que mais vezes mostrou incrementos de carbono em relação à pastagem, principalmente quando associada aos manejos PDC e PRA. Na profundidade de 10-20 cm, foram milho/milho e soja/caupi as sucessões que mais vezes incrementaram o teor de carbono, principalmente quando associadas aos manejos PRA (em milho/milho) e ao PRT (em soja/caupi).

Em sistemas de baixa mobilidade do solo, como no sistema plantio direto e em pastagens, o uso de gramíneas com abundantes sistemas radiculares promove aumento na taxa de conversão do carbono que está no tecido vegetal para aquele que compõe a matéria orgânica do solo, visto que a taxa de decomposição do sistema radicular é maior em relação aos resíduos deixados na superfície do solo (NUNES et al., 2011).

Carvalho et al. (2010) encontraram teores inferiores de carbono na conversão do solo que estava há 6 anos sob *Brachiaria brizantha* para o plantio de soja/sorgo na Amazônia. Os resultados diferiram de outros trabalhos feitos na região e também dos encontrados nesta pesquisa. Essas diferenças entre os resultados podem ser atribuídas aos sistemas de manejo e a combinação de culturas adotadas, bem como a características próprias do solo como textura e composição mineralógica.

Apesar das pastagens serem utilizadas em regiões tropicais para manter os estoques de carbono do solo, a sua eficácia nesse papel de formar complexos do carbono na matriz mineral do solo, em áreas onde houve supressão da vegetação natural, é gradualmente reduzida devido a quedas na sua produção ocasionadas pelo manejo inadequado (MARQUES et al., 2015). O mesmo acontece na região onde predomina a vegetação de Cerrado, onde pastagens bem manejadas podem manter ou aumentar o carbono do solo, ainda que a maior parte dessas pastagens estejam em estádio avançado de degradação, onde as entradas de carbono são baixas demais para sustentar o armazenamento de carbono no solo (DAVIDSON et al., 2012).

De maneira geral, na comparação do solo da floresta com o dos manejos agrícolas, houve um decréscimo nos teores de carbono orgânico em, aproximadamente, 61% dos casos,

na profundidade de 0-10 cm, independentemente do manejo, da sucessão ou época. Na profundidade de 10-20 cm esse decréscimo aconteceu em 30% das situações. Ou seja, houve uma diminuição da qualidade do solo, quando se implantou a agricultura e essa foi mais observada no solo dos manejos com revolvimento, ou seja, PRA e PRT.

No caso da retirada da pastagem para implantação da agricultura houve um aumento nos teores de carbono orgânico do solo (em 63% das situações), de forma muito evidente em 0-10 cm. Em relação aos manejos, esse aumento do carbono do solo foi mais expressivo nos manejos PDA e PDC, seguido de PRA e PRT, sendo esse último o que menos colaborou para aumentar o carbono orgânico do solo. Já na profundidade de 10-20 cm houve aumento (em 28% das situações) e também redução dos teores de carbono orgânico do solo (em 19% das situações).

Dessa forma, pode-se inferir que em áreas de lavoura quando bem manejadas pode haver aumento da qualidade do solo. Principalmente, quando comparada a pastagens mal manejadas.

5.2 Carbono da biomassa microbiana do solo

5.2.1 Carbono da biomassa microbiana do solo nos manejos, épocas e profundidades

Os teores de carbono da biomassa microbiana do solo apresentaram interação tripla entre diferentes manejos do solo, épocas do ano e profundidades de coleta das amostras de solo (Tabela 8).

O carbono da biomassa microbiana, na profundidade de 0-10 cm, foi maior no solo sob o manejo PRT, na época chuvosa/2015, quando comparado ao do PDC e ao do PRA. Na época da seca/2015 o carbono da biomassa foi maior no solo do PRA; na época chuvosa/2016 foi maior no PDC e no PRT e, na última época coletada, foi maior no PDA e PRA. Na profundidade de 10-20 cm, o carbono da biomassa não apresentou diferença entre os tratamentos na época chuvosa/2015. Na época da seca/2015 foi maior no solo sob manejo PRA e PRT, os quais diferiram dos demais. Na época chuvosa/2016 o PRT foi superior ao PRA. Na última época, o carbono da biomassa do solo sob PDA foi maior que o PDC e o PRA, o qual apresentou o menor teor de carbono da biomassa microbiana.

Tabela 8. Teores médios de carbono da biomassa microbiana (CBM mg kg^{-1} solo) em Latossolo Vermelho-Amarelo sob diferentes sistemas de manejo do solo, épocas e profundidades. Rolim de Moura/RO

MANEJOS	Época chuvosa/2015	Época da seca/2015	Época chuvosa/2016	Época da seca/2016
	CBM (mg kg^{-1}solo)			
	0 - 10 cm			
PDA	263,29 abB**α**	228,49 bB**α**	195,81 bB**α**	387,36 aA**α**
PDC	223,09 bB**α**	205,82 bB**α**	332,81 aA**α**	234,03 bAB**α**
PRA	214,40 bC**α**	349,81 aB**α**	200,96 bC**α**	476,43 aA**α**
PRT	349,49 aA**α**	174,92 bB**α**	361,13 aA**α**	242,58 bB**α**
	10-20 cm			
PDA	191,87 aB**α**	150,94 bB**α**	266,04 abAB**α**	371,90 aA**α**
PDC	189,98 aAB**α**	158,05 bB**α**	267,84 abA**α**	250,55 bA**α**
PRA	222,49 aAB**α**	315,54 aA**α**	188,06 bB**α**	152,19 cB**ß**
PRT	237,36 aB**α**	250,81 aAB**α**	352,07 aA**α**	290,46 abAB**α**

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste t LSD a 5% de probabilidade. As letras minúsculas comparam médias na coluna, as maiúsculas na linha e as letras gregas no mesmo manejo e na mesma época em profundidades diferentes. PDA: plantio direto alternativo; PDC: plantio direto contínuo; PRA: preparo alternativo, PRT: Preparo tradicional. CV: 49,88**%**, Média: 259,27.

Em ambas as profundidades, na comparação dos maiores teores de carbono da biomassa microbiana (Tabela 8), independente da época avaliada, o PRT esteve entre os manejos que maiores teores de carbono da biomassa apresentaram, principalmente de 10-20 cm. Ao contrário, o manejo que apresentou menor teor de carbono da biomassa foi o PDC.

Teores de carbono da biomassa microbiana do solo maiores nas áreas sob PRA e, principalmente, no PRT foram, provavelmente, em consequência da ação das operações de revolvimento do solo que ao promover um maior contato entre os resíduos vegetais e o solo, estimulam mesmo que temporariamente a população microbiana, provocando aumentos nas taxas de decomposição dos resíduos (FERREIRA et al., 2007). Por outro lado, essas operações causam rompimento dos agregados e expõem a fração lábil da matéria orgânica à oxidação, o que afeta os estoques de carbono e nitrogênio no solo (LISBOA et al., 2012; RAIESI, KABIRI, 2016).

O carbono imobilizado na biomassa microbiana do solo, a qual representa o destino inicial desse elemento em transformação no solo, apresenta rápida ciclagem, responde às flutuações de temperatura e umidade, bem como ao manejo dos resíduos culturais (RANGEL, SILVA, 2007). Teores mais elevados de carbono da biomassa implicam em maior taxa de

imobilização temporária de nutrientes, proporcionando menor propensão a perdas no sistema solo-planta (MERCANTE et al., 2004).

Além disso, o carbono da biomassa microbiana representa a fração da matéria orgânica que mais intensamente responde às mudanças nos sistemas de manejo do solo, sendo considerado como um dos indicadores mais precoce da detecção das alterações da matéria orgânica e da qualidade do solo (FRANCHINI et al., 2007; HUNGRIA et al., 2009) por representar a fração da matéria orgânica que é decomposta mais rapidamente (RANGEL-VASCONCELOS, et al. 2015).

Entretanto, o revolvimento da superfície do solo de forma contínua e a falta de cobertura vegetal, contribuem ao longo do tempo para a diminuição das populações de microrganismos nesses ambientes (PRAGANA et al., 2012). Sendo que, no sistema plantio direto ocorre maior possibilidade de aumento da vida biológica do solo, devido à maior quantidade de resíduos vegetais depositados na superfície.

Para Kaschuk et al. (2010) o sistema plantio direto foi eficiente em aumentar o carbono microbiano do solo por favorecer a população de fungos e não quebrar sua rede de hifas, os quais tem a vantagem, em relação aos procariontes, de apresentar requisito de energia mais baixo para sua manutenção e serem mais eficientes em transformar o carbono contido no substrato em carbono microbiano.

Resultados diferentes aos desse estudo foram encontrados em ambientes subtropicais, por Franchini et al. (2007) e Pereira et al. (2010) ao compararem o carbono da biomassa microbiana em sistema plantio direto com o preparo convencional em diferentes combinações de culturas, onde a biomassa foi consistentemente maior no plantio direto. Também em solos subtropicais, Bayer et al. (2002) encontraram mais carbono imobilizado pela biomassa microbiana em solos sob sistema plantio direto, atribuindo esse resultado a um aumento da matéria orgânica adicionada ao solo proporcionado por esse sistema de manejo. Depois de 18 anos, o sistema plantio direto manteve os teores de carbono da biomassa microbiana do solo em níveis semelhantes aos do campo nativo, e o preparo convencional ao contrário diminuiu, mesmo com quantidades similares de adição de resíduos, em Latossolo Vermelho do RS (SOUZA et al., 2014).

Na região Nordeste, Matias et al. (2009) observaram teores superiores de carbono da biomassa microbiana em solo sob sistema plantio direto, comparados aos de áreas de preparo convencional e cerrado recém desflorestado, em profundidades semelhantes as avaliadas nesse trabalho. No entanto, Rangel e Silva (2007) não encontraram diferenças significativas entre um sistema de manejo com ausência de revolvimento do solo e o preparo convencional implantado

há quatro anos, na camada superficial de um Latossolo Vermelho distroférrico, em experimento localizado em Lavras/MG.

Na comparação do carbono da biomassa microbiana dentro do mesmo manejo em diferentes épocas (Tabela 8), na profundidade de 0-10 cm, o solo do PDA e do PRA apresentaram mais carbono da biomassa na época da seca/2016, o PDC na época chuvosa/2016 quando comparado as duas épocas de 2015. O PRT foi maior nas duas épocas chuvosas. Na profundidade de 10-20 cm, o solo sob PDA apresentou maior carbono da biomassa na época da seca/2016, quando comparado as duas épocas de 2015. O solo do PDC apresentou o menor teor na época da seca/2015 se comparado à 2016. O carbono da biomassa do solo no manejo PRA foi maior na época da seca/2015 quando comparado as duas épocas de 2016 e o PRT foi maior na época chuvosa/2016 se comparado a época chuvosa/2015.

Em relação a resposta do carbono da biomassa microbiana à disponibilidade de água, houve uma inconstância entre os manejos do solo e épocas amostradas, com exceção para o manejo PRT que apresentou maior teor de carbono da biomassa do solo na época chuvosa, na profundidade de 0-10 cm.

O fato do manejo PRT ter apresentado mais carbono da biomassa microbiana do solo nas épocas de maior disponibilidade de água, na profundidade de 0-10 cm, é porque aliado ao estímulo aos microrganismos causado pela perturbação do solo deixando os resíduos em maior contato com a população da microbiota do solo, esses organismos também têm maior atividade com aumento da umidade do solo. Essas inconstâncias nos resultados da influência das mudanças sazonais da umidade sobre o carbono da biomassa microbiana também foram encontradas por Rangel-Vasconcelos et al. (2015) em solo de floresta na Amazônia.

A umidade influencia a biomassa e a atividade microbiana, isto porque durante o período da seca, provavelmente ocorre uma mudança na estrutura microbiana com a sobrevivência de um subgrupo menos diversificado e eficiente (BELDINI, et al., 2015). A umidade e temperatura do solo também exercem influência sobre a dinâmica de nutrientes e nos teores de nitrogênio, carbono e fósforo contidos na biomassa microbiana e na atividade de enzimas que tem um decréscimo em períodos secos, comprovando que condições ambientais desempenham papel importante na variação sazonal no comportamento microbiano (CENCIANI et al., 2009; SHI et al., 2013).

Devido a essa flutuação na resposta do carbono da biomassa do solo em função da disponibilidade de água, há a necessidade de continuar as medições no decorrer do tempo, quando se tem como intensão tomar medidas para evitar a degradação do solo e perda da sua qualidade. Para definir os limites adequados dos teores de carbono microbiano que indiquem

um solo com qualidade é necessário a repetição das análises em vários solos. E também em intervalos no tempo, pois a biomassa microbiana é susceptível às condições climáticas e pedogenéticas, variando de um ambiente para outro (KASCHUK et al., 2010).

Ocorreu um incremento no carbono da biomassa microbiana do solo com o passar do tempo para PDA e PDC nas duas profundidades, para PRA em 0-10 cm, para PRT em 10-20 cm, onde os teores absolutos foram maiores nas duas épocas de 2016. As exceções aconteceram no PRT na profundidade de 0-10 cm e no PRA em 10-20 cm.

Comparando as profundidades, dentro do mesmo manejo e época (Tabela 8), o carbono da biomassa microbiana do solo não foi diferente entre as profundidades, com uma única exceção encontrada no solo do manejo PRA na ocasião na época da seca/2016, onde o carbono da biomassa foi maior na profundidade de 0-10 cm.

Era esperado maiores teores de carbono microbiano na profundidade de 0-10 cm, sobretudo nos manejos conservacionistas. Isso porque, a produção de raízes afeta diretamente a biomassa microbiana e a exsudação radicular fornece energia e nutrientes para a microbiota do solo (FORTES NETO et al., 2007; DADALTO et al., 2015).

Esses efeitos também podem ser aplicados na comparação do sistema plantio direto com o preparo convencional, pois como no plantio direto a proliferação das raízes é maior nas camadas superficiais do solo, o carbono da biomassa microbiana é maior nesse sistema. A presença das raízes em profundidade tende a correlacionar-se com a biomassa ao longo do perfil e quando o solo é amostrado em maiores profundidades (> 25 cm), os teores de carbono da biomassa tendem a ser maiores no solo revolvido (ANDREOLA, FERNANDES, 2007).

Segundo Souza et al. (2014), a biomassa microbiana, considerada a fração viva da matéria orgânica do solo, é um excelente indicador de mudanças a curto prazo na qualidade do solo sob diferentes manejos. Pois atua como um reservatório de energia e de nutrientes, principalmente nas camadas superficiais do solo. Para Balota et al. (2004) uma das explicações do conteúdo de carbono da biomassa microbiana de áreas sob sistema plantio direto ser superior as áreas sob preparo convencional, pode ser devido a menor temperatura, aumento do teor de água, do carbono e da agregação do solo, sobretudo na camada superficial.

A biomassa microbiana presente na camada superficial do solo sob sistema plantio direto representa uma fonte de nutrientes disponíveis às plantas. Para Shi et al. (2013), o carbono da biomassa microbiana tem uma redução com o aumento da perturbação do solo, devido a menor quantidade de material orgânico deixado na superfície e, consequentemente, menor matéria orgânica do solo.

5.2.2 Carbono da biomassa microbiana do solo nos diferentes manejos, sucessões e épocas

Na época chuvosa /2015 para a sucessão milho/caupi não houve diferença no carbono da biomassa microbiana do solo entre os manejos. Na sucessão milho/milho o maior teor de carbono da biomassa foi encontrado no solo sob PRT quando comparado ao PDC e ao PRA, sendo que os manejos conservacionistas não diferiram entre si (Tabela 9). Na sucessão soja/caupi o carbono da biomassa microbiana foi maior no solo sob PDC quando comparado ao PDA e em soja/milho o PRT diferiu do PDC ao apresentar mais carbono da biomassa. Na época da seca/2015 milho/caupi, soja/caupi e soja/milho apresentaram teores superiores de carbono da biomassa no solo do manejo PRA quando comparado aos demais manejos. A sucessão milho/milho foi maior também no PRA mas somente quando comparado ao PDA e ao PRT.

Na época chuvosa/2016, o carbono da biomassa no solo do PDC foi maior comparado ao PRA. Na sucessão milho/milho foi o solo do PRT que foi superior ao PRA. Em soja/caupi o solo sob manejo PRT foi maior que os demais manejos e na sucessão soja/milho o solo sob PDC e PRT foram superiores aos demais. Na última época de avaliação de 2016 na sucessão milho/caupi e milho/milho o solo do PDA apresentou maior teor de carbono da biomassa microbiana que PDC e PRT, que não diferiram entre si. E nas sucessões soja/caupi e soja/milho não houve diferença nos teores entre as sucessões.

Dentre os manejos do solo, em cada sucessão e época de coleta do solo, o PRT e o PRA foram os que se destacaram em termos de maiores teores de carbono da biomassa microbiana, seguido do PDC e por último do PDA.

Diferente da maioria dos trabalhos no Brasil (FRANCHINI et al., 2007; HUNGRIA et al, 2009; BABUJIA et al. 2010; FRAZÃO et al. 2010; CAMELO et al., 2011; CUNHA et al. 2011) e também em outros países (SHI et al., 2013), os resultados desse trabalho reportam maiores teores de carbono da biomassa microbiana em áreas de manejo agrícola com maior intensidade de revolvimento do solo, que são as áreas de preparo tradicional e preparo alternativo.

Era esperado maiores teores de carbono da biomassa em solo sob sistema plantio direto, já que nessas áreas é esperado menores temperaturas do solo, maior umidade e agregação do solo e maiores teores de carbono orgânico (CAMELO et al., 2011; BALOTA et al. 2015). Segundo os autores, teores de carbono da biomassa microbiana menores aos encontrados em áreas de preparo tradicional, o aumento da atividade microbiana em resposta aos eventos de perturbação do solo, promovem perdas de carbono como CO_2.

Tabela 9. Médias dos teores de carbono da biomassa microbiana (CBM mg kg^{-1}solo) encontrados nos manejos agrícolas, sucessões de culturas e épocas (médias das profundidades). Rolim de Moura/RO

MANEJOS	Milho/Caupi	Milho/Milho	Soja/Caupi	Soja/Milho
	CBM (mg kg^{-1}solo)			
		ÉPOCA CHUVOSA/2015		
PDA	260,65 aB**β**	303,67 abA**β**	131,00 bC**γ**	215,00 abB**αβ**
PDC	252,39 aA**α**	200,14 bA**β**	199,14 aA**αβ**	174,49 bA**β**
PRA	219,24 aA**β**	220,48 bA**β**	196,90 abA**β**	237,18 abA**α**
PRT	318,60 aA**α**	379,78 aA**α**	176,95 abB**β**	298,39 aA**β**
		ÉPOCA DA SECA/2015		
PDA	226,77 bcA**β**	170,80 bA**β**	201,04 bA**β**	160,25 bA**β**
PDC	163,12 cAB**β**	230,53 abA**αβ**	155,63 bB**β**	178,45 bAB**β**
PRA	386,16 aA**α**	323,59 aAB**αβ**	352,36 aAB**α**	268,58 aB**α**
PRT	262,93 bA**α**	196,50 bAB**β**	214,07 bAB**β**	177,96 bB**γ**
		ÉPOCA CHUVOSA/2016		
PDA	277,47 abA**β**	239,96 abA**β**	145,17 cB**βγ**	261,08 bA**α**
PDC	317,28 aA**α**	323,23 abA**α**	161,07 bcB**β**	399,72 aA**α**
PRA	198,28 bA**β**	202,05 bA**β**	240,28 bA**αβ**	137,43 cB**β**
PRT	238,45 abC**α**	341,65 aBC**αβ**	360,02 aB**α**	486,30 aA**α**
		ÉPOCA DA SECA/2016		
PDA	435,26 aA**α**	424,79 aA**α**	351,29 aAB**α**	307,18 aB**α**
PDC	231,31 bA**αβ**	234,36 bA**αβ**	267,04 aA**α**	236,44 aA**β**
PRA	347,20 abA**α**	339,90 abA**α**	254,37 aA**αβ**	315,79 aA**α**
PRT	245,09 bA**α**	272,16 bA**αβ**	271,29 aA**αβ**	277,55 aA**β**

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste t LSD a 5% de probabilidade. As letras minúsculas comparam médias na coluna, as maiúsculas na linha e as letras gregas no mesmo manejo e na mesma sucessão em épocas diferentes. PDA: plantio direto alternativo; PDC: plantio direto contínuo; PRA: preparo alternativo, PRT: Preparo tradicional. CV: 49,88**%**, Média: 259,27.

Devido a maior atividade biológica, o sistema plantio direto imobiliza mais carbono orgânico por preservar os resíduos que são deixados na superfície do solo (CUNHA et al., 2011). O fato dos teores de carbono da biomassa terem sido maiores em PRT e PRA, podem indicar que nessas áreas e nas condições onde foram realizadas as avaliações, existe quantidade adequada de carbono facilmente mineralizável para atender a demanda da manutenção e aumento da microbiota do solo.

Avaliando o carbono da biomassa microbiana nas diferentes sucessões, dentro do mesmo manejo e época (Tabela 9), para o período chuvoso/2015 e no manejo PDA a sucessão que apresentou maior teor de carbono da biomassa do solo foi a milho/milho e a que apresentou menor teor foi soja/caupi. Nos manejos PDC e PRA não houve diferença entre as sucessões e no PRT o carbono da biomassa apresentou o menor teor no solo da sucessão soja/caupi.

Na época da seca/2015 o carbono da biomassa microbiana não variou no solo do manejo PDA. No manejo PDC, o solo da sucessão milho/milho apresentou maior teor de carbono da biomassa quando comparado a soja/caupi. No PRA e no PRT, a sucessão milho/caupi teve maior teor de carbono da biomassa do solo em relação a soja/milho. Na época chuvosa de 2016, os solos sob os manejos PDA e PDC apresentaram menor teor de carbono da biomassa na sucessão soja/caupi. No PRA foi o solo da sucessão soja/milho que apresentou menor teor de carbono da biomassa e no manejo PRT essa mesma sucessão foi superior as demais. Na época da seca/2016, o solo sob PDA apresentou diferenças no carbono da biomassa entre milho/caupi e milho/milho quando comparado a soja/milho. Para os demais manejos não houve diferença entre as sucessões para o teor de carbono da biomassa microbiana.

Em termos gerais, na comparação do comportamento do manejo, dentro da mesma sucessão e época (Tabela 9), os manejos do solo onde foram encontrados os maiores teores de carbono da biomassa microbiana foram o PRT seguido do PRA, ou seja, os manejos com revolvimento do solo associados às sucessões de culturas milho/caupi e milho/milho.

Vários fatores podem influenciar na quantidade e a composição da biomassa microbiana, entre os quais o sistema de cultivo, a rotação de culturas e a textura do solo (VENZKE FILHO et al., 2008). Partindo do princípio de que o carbono da biomassa microbiana é um compartimento regulado pela disponibilidade de substrato orgânico (XAVIER et al., 2006), o maior teor de carbono da biomassa encontrado no solo das sucessões onde foi plantado o milho na safra, é devido a sua maior capacidade de deposição de resíduos orgânicos em relação a sucessão das leguminosas utilizadas nesse trabalho.

A influência das plantas sobre a biomassa microbiana pode ser diretamente pelo efeito seletivo da sua rizosfera, ou também por meio das fontes de carbono provenientes dos resíduos culturais deixados no solo. Fontes essas que apresentam diferentes biodisponibilidades à decomposição mediada pelos microrganismos (SILVA et al., 2010).

Para Souza et al. (2010), a biomassa microbiana do solo é influenciada por parâmetros como aeração do solo, clima, disponibilidade de nutrientes, quantidade de resíduos deixados no solo e volume de raízes, funcionando como um compartimento de reserva de nutrientes como

carbono, nitrogênio, enxofre e fósforo ou controlando a velocidade da decomposição da matéria orgânica do solo.

No solo da sucessão soja/caupi, houveram menores teores de carbono da biomassa em relação às demais sucessões. Teores mais baixos de carbono na biomassa microbiana nas sucessões com duas leguminosas devem-se ao fato dessas espécies apresentarem baixa relação C/N, que associado às elevadas temperaturas e umidade do ar, aumentam a razão de decomposição dos resíduos, havendo uma rápida ciclagem de nutrientes no sistema. Isso pode afetar a formação de palhada em quantidade necessária para a manutenção do sistema plantio direto (Carneiro et al., 2008).

Mesmo apresentando menor capacidade de aporte de substrato, quando comparada em algumas situações às sucessões onde na safra havia sido cultivado milho, a inclusão de leguminosas nos sistemas agrícolas é de suma importância. Para Cunha et al. (2011) um dos benefícios da inclusão de leguminosas é pela possibilidade de aumento da produtividade da cultura posterior que se beneficia com o nitrogênio incorporado ao solo, além do possível incremento da adição de resíduos não colhidos ao solo, favorecendo o acúmulo de matéria orgânica.

Além dos fatores ambientais atuando sobre o ecossistema, a quantidade e a qualidade dos resíduos vegetais que permanecem sobre o solo podem alterar de maneira significativa a biomassa microbiana, sendo que o acúmulo desse material no solo implica no aumento da matéria orgânica, com consequente estímulo à biomassa microbiana (SOUZA et al., 2010). Diferentes sequências e rotações com culturas que apresentam diferentes relações C/N afetam de forma qualitativa e quantitativamente os processos de imobilização e mineralização, o que dificulta a interpretação do comportamento da biomassa microbiana (PEREIRA et al., 2010).

A prática da sucessão ou da rotação de culturas, uma das premissas da agricultura de conservação, tem seu uso recomendado por aumentar a estabilidade dos agregados do solo e disponibilizar mais carbono, quando é cultivada uma gramínea ou fixar nitrogênio da atmosfera quando é cultivada uma leguminosa. Esse fato, influencia diretamente a disponibilidade de nutrientes para a cultura subsequente (VENZKE FILHO et al., 2008). Dessa forma, o estudo da combinação de culturas a ser utilizada em sistemas de manejo do solo, que visam o aumento da sua qualidade é de suma importância para se produzir alimentos, fibras e oleaginosas, de forma sustentável para o mundo.

A influência da rotação de culturas sob parâmetros da biomassa microbiana deve ser melhor estudada nas condições de solo e clima, sobretudo em ensaios de longa duração, para que haja o entendimento de como acontecem essas alterações na comunidade microbiana do

solo (KASCHUK et al., 2011). Isso, porque maiores teores de carbono da biomassa microbiana em áreas de soja, cultivada após outra leguminosa, foram encontrados por Franchini et al. (2007) quando comparado a área de soja em sucessão às gramíneas.

Não somente a atividade microbiana influencia as plantas. As culturas afetam o solo pela profundidade de exploração do sistema radicular, na disponibilidade de nutrientes, qualidade e quantidade de resíduos deixados no solo alterando a diversidade metabólica e microbiana dos microrganismos presentes naquela área (BALOTA et al., 2004; ARAGÃO et al., 2012).

Ao analisar as diferenças entre as épocas, dentro da mesma sucessão e manejo do solo (letras gregas na Tabela 9), começando pela sucessão milho/caupi, no manejo PDA os maiores teores de carbono da biomassa microbiana foram encontrados na época da seca/2016. No PDC as duas épocas chuvosas diferiram da seca/2015. No PRA as duas épocas de seca foram maiores que as épocas chuvosas. Para o PRT não houve diferença entre as épocas.

Na sucessão milho/milho e no manejo PDA o carbono da biomassa microbiana foi maior na época da seca/2016. No PDC o maior teor de carbono da biomassa ocorreu na época chuvosa/2016 e o PRA na época da seca/2016. Para o PRT houve diferença no teor de carbono da biomassa entre a época chuvosa/2015 e a da seca/2015 com menor teor.

Em milho/caupi, no manejo PDA o maior teor de carbono da biomassa microbiana foi na época da seca/2016 sendo que, nas duas épocas chuvosas ocorreram menores teores de carbono da biomassa, sem diferença entre si. No PDC o carbono da biomassa na época da seca/2016 foi maior que na época da seca/2015 e chuvosa/2016. Para o PRA o carbono da biomassa foi maior na época da seca/2015 quando comparado a chuvosa/2015. O PRT apresentou maior teor de carbono da biomassa na época chuvosa/2016 quando comparado as duas épocas de 2015.

Os resultados de carbono da biomassa microbiana, relacionados às mudanças sazonais na umidade do solo, não seguem um padrão claro de variação, apesar da comprovada influência da umidade sobre a biomassa microbiana do solo (GAMA-RODRIGUES et al., 2005; CUNHA et al., 2011; RANGEL-VASCONCELOS et al., 2015).

Apesar da falta de constância entre os tratamentos, em resposta a umidade do solo no momento da coleta das amostras, houveram maiores teores de carbono da biomassa microbiana no último período avaliado. Isso pode interferir no acúmulo de carbono da biomassa microbiana no decorrer do tempo nas áreas de manejos agrícolas. Esse comportamento foi mais evidente no manejo PDA que em todas as sucessões, no qual apresentou um acúmulo de carbono da biomassa microbiana no decorrer do tempo. Uma mudança na comunidade microbiana, pode

ser a explicação para menores teores de carbono da biomassa na época da seca, com predomínio de grupos específicos e menos diversificados, representando uma fração da população encontrada no período chuvoso (Beldini et al., 2015).

5.2.3 Carbono da biomassa microbiana do solo na floresta e pastagem, em diferentes épocas

Na floresta não ocorreu diferença entre as épocas e na pastagem, o carbono da biomassa do solo coletado na época da seca/2015 foi maior que na época chuvosa/2015, ficando os demais tratamentos sem diferenças entre si. Comparando o carbono da biomassa entre os dois diferentes usos do solo, houve diferença na época chuvosa/2015 e da seca/2016 onde os teores foram maiores no solo da floresta (Tabela 10).

Os microrganismos do solo são estimulados pelo aporte contínuo de resíduos de plantas, com diferentes composições químicas e diferentes graus de susceptibilidade à decomposição (OLIVEIRA et al., 2016) como os encontrados no ambiente de floresta. Temperatura menor e maior umidade do solo fornecem um ambiente com condições ideais para o desenvolvimento microbiano, possivelmente sendo responsáveis pelos valores aproximados do carbono da biomassa microbiana do solo entre as distintas épocas de avaliação encontrados na floresta (Tabela 10).

Tabela 10. Médias dos teores de carbono da biomassa microbiana (CBM mg kg^{-1}solo) na floresta e na pastagem em diferentes épocas (médias das profundidades). Rolim de Moura/RO

ÉPOCA	Floresta	Pastagem
	(CBM mg.kg^{-1}solo)	
Época chuvosa/2015	353,60 aA	183,20 bB
Época da seca/2015	312,64 aA	388,04 aA
Época chuvosa /2016	310,55 aA	333,48 abA
Época da seca /2016	426,98 aA	261,64 abB

As médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste t-LSD a 5% de probabilidade. CV: 30,14**%**, Média: 321,26.

Na época chuvosa/2015, o solo da pastagem mostrou o menor teor de carbono da biomassa microbiana quando comparado a época da seca desse mesmo ano, não havendo

diferença entre as demais épocas. Esse resultado pode ser atribuído a uma variação na quantidade de cobertura deixada pelas gramíneas dessa área na época anterior. O que pode ter proporcionando níveis reduzidos de entrada de matéria orgânica lábil na superfície do solo e ter prejudicado as condições de crescimento da biomassa microbiana (SINGH, GHOSHAL, 2014). Nos demais períodos houve uma recuperação da biomassa microbiana no solo da pastagem, possivelmente por haver melhoria nas condições de crescimento (OLIVEIRA et al., 2016).

Os teores de carbono da biomassa microbiana do solo da pastagem serem semelhantes ao encontrado na floresta na época da seca/2015 e chuvosa/2016, possivelmente deve-se ao fato de que esses sistemas de manejo apresentarem ausência de revolvimento do solo, aliados ao intenso desenvolvimento e a ciclagem das raízes das gramíneas, sobretudo as localizadas na profundidade de 0 - 20 cm (VICENTE et al., 2013), apresentam tendência de aumento do teor de carbono na fração da biomassa microbiana do solo.

A redução nos teores de carbono da biomassa microbiana do solo em áreas onde a floresta foi substituída por pastagens pode estar relacionada à modificação das condições físicas do solo. A densidade do solo provavelmente torna as condições menos favoráveis ao desenvolvimento da microbiota do solo (Melo et al., 2012).

5.2.4 Carbono da biomassa microbiana do solo na floresta, pastagem e manejos agrícolas

Houve diferença entre os teores de carbono da biomassa microbiana do solo encontrados nas áreas de floresta e pastagem comparados às áreas de manejos agrícolas (Tabela 11).

A substituição da vegetação nativa de floresta por sistemas agrícolas provocou alterações nos teores de carbono da biomassa microbiana do solo em 23% das possíveis combinações existentes entre manejo, sucessão e épocas de coleta em ambas as profundidades. De maneira geral, quando houve redução dos teores de biomassa microbiana, os teores ficaram em torno de 51 a 69 % mais baixos nos manejos agrícolas na profundidade de 0-10 cm e entre 49 e 67 % na profundidade de 10-20 cm (Tabela 11).

Na profundidade de 0-10 cm na comparação da floresta com os manejos agrícolas, a sucessão milho/caupi foi a que mais vezes apresentou teores de carbono da biomassa semelhantes aos do solo da floresta e, quando houve diferença, essas apareceram no PRA e PRT (época chuvosa/2015 e da seca/2016, respectivamente) onde os teores diminuíram em relação a floresta. Para as demais sucessões houve um comportamento semelhante entre o número de vezes que o teor de carbono da biomassa foi igual em relação ao encontrado na floresta, e

Tabela 11. Médias dos teores de carbono da biomassa microbiana (CBM mg kg^{-1}solo) encontrados sob diferentes manejos e sucessões de culturas em relação ao solo da floresta e da pastagem, em diferentes épocas e profundidades. Rolim de Moura/RO

MANEJOS	Milho/Caupi	Milho/Milho	Soja/Caupi	Soja/Milho	Milho/Caupi	Milho/Milho	Soja/Caupi	Soja/Milho
	CBM (mg kg^{-1}solo) 0-10 cm				CBM (mg kg^{-1}solo) 10-20 cm			
				ÉPOCA CHUVOSA/2015				
Floresta	**404,91**	**404,91**	**404,91**	**404,91**	**302,28**	**302,28**	**302,28**	**302,28**
Pastagem	**188,53**	**188,53**	**188,53**	**188,53**	**177,86**	**177,86**	**177,86**	**177,86**
PDA	327,61	358,27	125,13*	242,16	193,69	249,07	136,86*	187,84
PDC	286,80	177,74*	231,11	196,72*	217,97	222,54	167,16	152,26
PRA	169,15*	181,99*	193,59*	312,88	269,33	258,98	200,21	161,48
PRT	415,81α	413,42 α	213,46	355,28	221,38	346,13	140,44*	241,49
				ÉPOCA DA SECA/2015				
Floresta	**337,61**	**337,61**	**337,61**	**337,61**	**287,67**	**287,67**	**287,67**	**287,67**
Pastagem	**348,24**	**348,24**	**348,24**	**348,24**	**427,85**	**427,85**	**427,85**	**427,85**
PDA	343,98	153,10* α	214,22	202,66	109,56*α	188,49 α	187,86 α	117,84*α
PDC	182,62	296,36	202,04	142,26*α	143,62*α	164,71 α	109,21* α	214,64 α
PRA	404,40	269,33	419,06	306,45	367,93	377,85	285,66	230,72
PRT	283,02	165,02*α	107,68*α	143,96*α	242,83	227,97 α	320,46	211,95 α
				ÉPOCA CHUVOSA/2016				
Floresta	**294,30**	**294,30**	**294,30**	**294,30**	**326,81**	**326,81**	**326,81**	**326,81**
Pastagem	**325,97**	**325,97**	**325,97**	**325,97**	**340,99**	**340,99**	**340,99**	**340,99**
PDA	218,79	212,13	157,31 α	195,01	336,16	267,80	133,03*α	327,16
PDC	344,24	374,88	183,74	428,37	290,33	271,58	138,39*α	371,07
PRA	200,47	231,59	247,35	124,41* α	196,09	172,50	233,21	150,45*α
PRT	199,29	441,30	318,52	485,42	277,60	241,99	401,51	487,19
				ÉPOCA DA SECA/2016				
Floresta	**417,63**	**417,63**	**417,63**	**417,63**	**436,33**	**436,33**	**436,33**	**436,33**
Pastagem	**279,06**	**279,06**	**279,06**	**279,06**	**244,21**	**244,21**	**244,21**	**244,21**
PDA	465,91	466,26	276,47	340,79	404,60	383,32	426,11	273,57
PDC	251,11	236,57	255,99	192,42*	211,52*	232,14	278,09	280,46
PRA	549,86α	506,58α	357,18	492,11α	144,53*	173,23*	151,57*	139,47*
PRT	203,50*	324,43	174,36*	268,04	286,67	219,89*	368,22	287,06

Valores na coluna seguidos de asterisco diferem da Floresta, e seguidos por α diferem da Pastagem pelo Teste de Dunnett ($p<0,05$), dentro de cada época. PDA: plantio direto alternativo; PDC: plantio direto contínuo; PRA: preparo alternativo e PRT: Preparo tradicional. CV: 47,92**%**, Média: 266,16.

quando houve diferença, os teores de carbono diminuíram. De maneira geral, quando houve redução do carbono da biomassa microbiana, os manejos onde essa redução foi mais encontrada foram no PRA>PDC>PRT.

Na profundidade de 10-20 cm, as reduções nos teores de carbono da biomassa foram observadas no solo sob os manejos PRA e PDA. A sucessão milho/milho foi a que mais vezes apresentou teores de carbono da biomassa semelhantes aos da floresta (22% das vezes) e, quando houve diferença entre os tratamentos essas diferenças apareceram no PRA e PRT. Ao contrário na área de sucessão soja/caupi foi onde observou-se as maiores diferenças entre os teores de carbono da biomassa comparado ao solo da floresta, quando associada aos manejos PDA e PDC.

Apesar dos teores da biomassa microbiana possam aumentarem em curto período de tempo com a retirada da floresta ou do cerrado, foi comprovado que após esse aumento há a formação de um novo estado de equilíbrio. Com tendência dos teores de carbono da biomassa microbiana se aproximarem dos encontrados na vegetação nativa ou ficarem abaixo deles (KASCHUK et al., 2010; BRACKIN et al., 2013; STIEVEN et al., 2014; BELDINI et al., 2015).

Na comparação do carbono da biomassa microbiana entre solos florestais e agrícolas em três locais da Argentina, Tosi et al. (2016) encontraram redução do carbono da biomassa microbiana pela retirada da floresta, atribuindo essa modificação às mudanças no ambiente do solo e dos distúrbios causados pelo manejo agrícola.

Os maiores teores de carbono da biomassa microbiana no solo da área de floresta, aliado à ausência de perturbações do solo, deve-se possivelmente a diversidade de plantas encontradas nesse ambiente, em comparação com as áreas sob as diferentes sucessões. No entanto, em algumas situações esses teores sofreram redução e podem estar associados ao revolvimento do solo por ocasião do preparo e semeadura (PRA e PRT) ou a menor quantidade de resíduos deixados pela sucessão soja/milho, no caso do PDC.

Esses resultados corroboram com os encontrados por Rosa et al. (2003) os quais observaram maiores teores de carbono da biomassa microbiana em solos sob floresta nativa do que em sistema plantio direto. Esse resultado foi atribuído à elevada população microbiana e à maior diversidade de plantas no ambiente florestal, na qual proporciona maior amplitude de organismos vivos favorecidos pelas condições ambientais do solo. Rangel e Silva (2007) em Minas Gerais e Matoso et al. (2012) em Rondônia também observaram maiores teores de carbono microbiano em áreas de floresta em relação às áreas sob cultivo agrícola, independente do grau de revolvimento do solo.

Para Cunha et al. (2011) elevados teores de carbono da biomassa microbiana em áreas de floresta é resultado de uma situação particular para os microrganismos do solo nesse sistema, que são estimulados pelo aporte contínuo de materiais que apresentam variados graus de suscetibilidade à decomposição. Outro fator que contribui é a existência de maior diversidade de compostos orgânicos depositados na rizosfera, o que é extremamente benéfico à sobrevivência e crescimento de diferentes grupos microbianos do solo.

Matsuoka et al. (2003) ressaltam que maior teor de carbono da biomassa microbiana pode ser encontrado em solos sob vegetação nativa devido ao acúmulo de serapilheira, que proporciona menor variação e níveis mais adequados de temperatura e umidade, condições estas mais favoráveis à biomassa microbiana. Para Pragana et al. (2012), a microbiota do solo é estimulada pelo fornecimento contínuo de materiais orgânicos com diferentes níveis de suscetibilidade à decomposição. Assim, sob condições distintas do solo sob vegetação de floresta, juntamente com a ausência de perturbações decorrentes de atividade antrópica, é possível a existência de maiores quantidades de carbono da biomassa microbiana, indicando o maior equilíbrio da microbiota do solo nesse ecossistema (CUNHA et al., 2011).

As práticas conservacionistas proporcionam à comunidade microbiana do solo, aumento da sua população, incluem menos interrupções de hifas fúngicas, maior proteção do habitat microbial, aumento da umidade do solo e menor flutuação de temperatura. Benefícios esses causados pela menor perturbação do solo (PEREIRA et al., 2010). Silva et al. (2010) evidenciaram nas suas pesquisas que a capacidade de imobilização de carbono pela biomassa microbiana foi inversamente proporcional à intensidade de manejo dispensado ao solo.

A retirada da pastagem para implementação de áreas agrícolas modificou os teores de carbono da biomassa microbiana entre 19 e 20 % das situações propostas pelo este estudo, nas respectivas profundidades de 0-10 e 10-20 cm (Tabela 11).

Na profundidade de 0-10 cm, quando houve redução do carbono da biomassa (11 % das vezes), essa redução apareceu no solo da sucessão milho/milho (PDA e PRT na época da seca/2015), em soja/caupi (PRT na época da seca/2015, PDA na época chuvosa/2016) e na sucessão soja/milho (PDC e PRT na época da seca/2015 e PRA na época chuvosa/2016) onde os teores reduziram entre 52 a 69%. O incremento do carbono da biomassa aconteceu em 8% das situações, nas sucessões milho/caupi e milho/milho associadas ao manejo PRT e PRA (época chuvosa/2015 e da seca/2016), e em soja/milho no manejo PRA na época da seca/2016. As sucessões que mais se assemelharam a pastagem foram milho/caupi e soja/caupi (44% das vezes) e na seguinte ordem de manejo PDC=PDA>PRT.

O carbono da biomassa microbiana na profundidade de 10-20 cm (Tabela 11) teve redução dos seus teores em 20 % das situações, sendo que os teores foram de 47 e 74% menores aos encontrados no solo da pastagem. Essa redução foi encontrada, principalmente, nos manejos PDA e PDC e nas duas sucessões com soja cultivada na safra. A sucessão milho/caupi apresentou maior número de vezes (22% das vezes) semelhança aos teores da pastagem e quando houve diferença, os teores do carbono da biomassa microbiana do solo diminuíram.

Os resultados apontam uma tendência de áreas sob pastagens conseguirem manter os teores de carbono da biomassa microbiana, visto que na maioria dos tratamentos o carbono da biomassa não se alterou em relação aos teores encontrados na pastagem, em ambas as profundidades. Uma das explicações para esse fato é que as gramíneas do gênero *Brachiaria* possuem um abundante sistema radicular, o qual está em contínua renovação e alto efeito rizosférico (ALVES et al., 2011).

Entende-se como efeito rizosférico, aquela zona de influência das raízes onde as plantas liberam mucilagens, exsudatos e células contendo enzimas, açúcares, proteínas, carboidratos, aminoácidos e hormônios entre outros metabólitos. Substancias essas, facilmente utilizáveis pela microbiota, que também liberam alguns destes compostos orgânicos, e ambos causam influências no aumento e na diversidade dos microrganismos do solo (CORDEIRO et al., 2012).

Além disso, áreas com mais aporte de carbono orgânico indicam melhores condições para a comunidade microbiana e, consequentemente, aumentam os teores de carbono da biomassa microbiana (SANTOS et al., 2015), o qual representa a quantidade de carbono que a biomassa microbiana do solo imobiliza nas suas células (ALVES et al., 2011).

Dessa forma, pastagens bem manejadas que promovam a biomassa microbiana contribuem para aumentar a sustentabilidade dessa atividade, pelo fato das células microbianas representar um reservatório vivo de nutrientes como o carbono, o fósforo e o enxofre, evitando a sua adsorção na fração mineral do solo ou dificultando sua lixiviação no perfil, retornando ao solo após a morte e mineralização das células microbianas (SANTOS et al., 2015).

Nos estudos de Silva et al. (2014) que avaliaram indicadores biológicos do solo em pastagem instalada há 20 anos, sistemas orgânicos e agroflorestais contrastando com a floresta em Rio Branco/AC, não houve diferença entre os teores de carbono da biomassa microbiana encontrados no solo de floresta e de pastagem na profundidade de solo de 0-5 cm. Já em 5-10 cm, as amostras de solo retiradas das áreas de pastagem apresentaram maiores teores de carbono da biomassa microbiana do que as da floresta, atribuindo esse efeito aos sistemas radiculares das gramíneas dessas áreas por serem abundantes e extensivos e apresentando contínua

renovação. Matoso et al. (2012), encontraram tanto em profundidade de 0-10 como na de 10-20 cm maiores teores de carbono da biomassa em solos de pastagens de braquiária quando comparado aos de sistemas de cultivo mínimo, plantio direto e preparo convencional em Rondônia.

Nas poucas ocasiões onde houveram incrementos nos teores de carbono da biomassa nos manejos agrícolas em relação à pastagem, esses ocorreram nos manejos com maior revolvimento do solo. Para Luizão et al (2010) os teores de carbono da biomassa microbiana foram maiores em áreas de pastagem quando comparados as áreas sob sistema plantio direto e plantio tradicional na profundidade de 5-20 cm em experimento de campo em Comodoro/MT. Para Souza et al. (2006), os maiores teores de carbono da biomassa encontrado em áreas de pastagem consorciada com milho quando comparados aos encontrados em áreas sob sistema plantio direto e preparo convencional em Latossolo Vermelho, no Mato Grosso do Sul, são explicados pelo não revolvimento do solo nessa área e a elevada liberação de exsudatos pelo abundante sistema radicular das gramíneas, o que aumenta a atividade de microrganismos do solo.

Os teores de carbono da biomassa microbiana quando comparados entre o solo de floresta e o da área dos manejos agrícolas, reduziram em 22% das combinações independente do manejo, da sucessão, época ou profundidade. Essa redução do carbono da biomassa microbiana foi mais evidente no manejo PRA.

Quando foi feita a substituição da pastagem pelas culturas anuais, também foram observadas reduções no carbono da biomassa, em ambas as profundidades mas com maior evidência na profundidade de 10-20 cm (em 20% das combinações), onde no PDA e no PDC as reduções foram mais expressivas. Já na profundidade de 0-10 cm, o PRT apresentou maior número de vezes redução do carbono da biomassa microbiana.

5.3 RESPIRAÇÃO BASAL DO SOLO

5.3.1 Respiração do solo nos manejos, sucessões e profundidades

Os teores de carbono desprendido para a atmosfera por meio da respiração basal do solo estão apresentados na Tabela 12. Houve interação entre manejo do solo, sucessão de culturas e profundidade.

Tabela 12. Carbono da respiração basal do solo (RBS mg.kg^{-1}solo hora^{-1}) em Latossolo Vermelho-Amarelo sob diferentes sistemas de manejo do solo e sucessão de culturas, em duas profundidades. Rolim de Moura/RO

MANEJOS	Milho/Caupi	Milho/Milho	Soja/Caupi	Soja/Milho
	RBS (mg kg^{-1}solo hora^{-1})			
	0-10 cm			
PDA	0,34 aA**α**	0,33 bA**α**	0,33 abA**α**	0,36 bA**α**
PDC	0,40 aA**α**	0,40 abA**α**	0,48 aA**α**	0,39 bA**α**
PRA	0,40 aAB**α**	0,43 abA**α**	0,30 bB**α**	0,41 bAB**α**
PRT	0,42 aB**α**	0,50 aAB**α**	0,46 aB**α**	0,67 aA**α**
	10-20 cm			
PDA	0,27 bA**α**	0,23 bA**α**	0,23 bA**α**	0,31 aA**α**
PDC	0,30 bA**α**	0,34 abA**α**	0,33 abA**α**	0,36 aA**α**
PRA	0,34 bA**α**	0,45 aA**α**	0,47 aA**α**	0,46 aA**α**
PRT	0,51 aA**α**	0,49 aA**α**	0,38 abA**α**	0,38 aA**β**

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste t LSD a 5% de probabilidade. As letras minúsculas comparam médias na coluna, as maiúsculas na linha e as letras gregas no mesmo manejo e sucessão, mas em profundidades diferentes. PDA: plantio direto alternativo; PDC: plantio direto contínuo; PRA: preparo alternativo e PRT: Preparo tradicional. CV: 57,73%. Média: 0,389.

Dentre os manejos do solo, no PRT foi onde houve mais respiração basal do solo e o PDA onde houve a menor. Dentre as sucessões houve menos respiração basal do solo na sucessão soja/caupi.

Na profundidade de 0-10 cm, não houve diferença na respiração do solo entre os manejos na sucessão milho/caupi (Tabela 12). Na sucessão milho/milho, o solo sob PRT apresentou mais respiração basal que o do manejo PDA e não diferiu dos demais. Na sucessão soja/caupi a respiração basal no solo sob PDC e sob PRT foram maiores que no PRA e, na última sucessão, soja/milho, o solo sob PRT foi o que mais apresentou respiração basal.

Na profundidade de 10-20 cm para a sucessão milho/caupi, a maior respiração basal foi no solo do PRT, sendo que os demais manejos não diferiram entre si (Tabela 12). Para milho/milho a respiração basal do solo foi maior nos manejos PRA e PRT quando comparado ao PDA. Houve diferença entre PRA e PDA, sendo que esse último teve menor respiração basal do solo na sucessão soja/caupi. E na sucessão soja/milho não houve diferença entre os manejos na profundidade de 10-20 cm.

A determinação da biomassa microbiana em estudos de qualidade do solo não aponta, de forma isolada, nenhuma indicação do nível da atividade das populações de microrganismos (MELO et al., 2012). Dessa forma torna-se necessário medir parâmetros que quantifiquem a

atividade microbiana, como por exemplo a respiração basal (SILVA et al., 2014, NANNIPIERI et al., 2017). Segundo esses autores, a atividade da microbiota do solo é um indicador biológico da ciclagem de nutrientes, pois a mineralização da matéria orgânica e a degradação dos compostos orgânicos com a consequente liberação de nutrientes, estão correlacionados com a atividade dos microrganismos.

Em sistemas agrícolas, o manejo do solo atua diretamente na liberação de dióxido de carbono para a atmosfera, pois modificam as taxas de entrada e saída de carbono, que variam em função da produção diferenciada de resíduos, do número de cultivos por ano, das espécies vegetais utilizadas, dos procedimentos de colheita, dos métodos empregados de preparo do solo e do manejo dos resíduos culturais (RANGEL, SILVA, 2007).

Em todas as sucessões e nas duas profundidades o PRT esteve como o manejo que mais liberou gás carbônico, seguido do PDC e do PRA (Tabela 12). O manejo PDA foi o que menos vezes apresentou altas taxas de respiração do solo. Os sistemas de preparo do solo com revolvimento, como o preparo convencional, resultam na exposição da fração lábil da matéria orgânica do solo, o que favorece a oxidação dos compostos orgânicos e liberação do CO_2, em decorrência do aumento da aeração, ao maior contato do solo com os resíduos das culturas e ao ataque microbiano à matéria orgânica, que antes estava protegida nos agregados (SIQUEIRA et al., 2011; LISBOA et al., 2012).

Também na comparação da respiração basal entre sistemas de manejo do solo sob Latossolo Vermelho distrófico com vegetação de Cerrado, Nunes et al. (2011) registraram maior atividade respiratória no solo sob preparo convencional quando comparado ao sistema plantio direto, atribuindo os resultados ao revolvimento do solo. A perturbação no solo, causada pelo revolvimento pode provocar desvios de energia, que deveria ser utilizada para o crescimento e reprodução da microbiota, para a manutenção das suas células, acarretando a perda de CO_2 (MATIAS et al., 2009).

Diferente dos resultados desse trabalho, Siqueira et al. (2009) encontraram alta respiração basal do solo em sistema plantio direto com 22 anos quando comparado a outro com 12 anos de instalação, em Tibagi/PR. Para os autores o tempo da adoção do sistema plantio direto contribuiu para maior quantidade de matéria orgânica e maior diversidade microbiana que provocaram emissões mais elevadas de CO_2. Babujia et al. (2010) também encontraram maiores taxas de respiração basal em solos sob sistema plantio direto implantado há 20 anos quando comparado ao preparo convencional, em experimento na região de Londrina/PR, indicando maior atividade microbiana.

No entanto, outras pesquisas em todo país têm apontado o sistema plantio direto como um sistema com potencial de mitigar a emissão de gás carbônico (SÁ et al., 2001, CARVALHO et al., 2010; MAIA et al., 2010; PEREIRA et al., 2010; TIVET et al., 2013), uma vez que o uso de diversas combinações de espécies na rotação e a permanência dos resíduos na superfície do solo proporcionam uma decomposição mais lenta do material orgânico, favorecendo o aumento do carbono orgânico.

No sistema PDA onde foram verificadas as menores taxas de respiração basal, pode estar havendo um equilíbrio na microbiota do solo, indicando estabilidade do sistema (PRAGANA et al., 2012), favorecendo a maior incorporação de carbono à biomassa microbiana.

Um meio termo em relação a influência do manejo do solo na emissão de gás carbônico foi verificado por Costa et al. (2008), avaliando as emissões de CO_2 em função de sistemas de preparo (direto, reduzido e convencional) e de sucessões de culturas (combinação de gramíneas com leguminosas) no Rio Grande do Sul, onde não houve diferença entre os tratamentos sobre a perda líquida de CO_2 para a atmosfera.

Analisando o mesmo manejo, na profundidade de 0-10 cm, e variando as sucessões (Tabela 12), tem-se que o PDA e no PDC não apresentaram diferença na respiração basal entre as sucessões de culturas. No PRA a respiração basal foi maior no solo da sucessão milho/milho quando comparada a soja/caupi. E no PRT a maior respiração basal ficou no solo da sucessão soja/milho, quando comparado a milho/caupi e soja/caupi. Para essa mesma comparação, agora na profundidade de 10-20 cm, não houve diferença na respiração basal do solo entre as sucessões.

A respiração basal é um indicador de qualidade do solo que indica a atividade microbiana, representando o carbono prontamente mineralizável do solo. Segundo Pragana et al. (2012) a atividade e a população microbiana presentes no solo estão ligadas com o volume de material orgânico disponível no ambiente edáfico, o qual representa uma das principais fontes de energia para esses organismos.

Os resíduos de plantas deixados no solo e a matéria orgânica são utilizados como fonte de carbono pela população de microrganismos. O processo de decomposição tem início após a fragmentação do material, inicialmente realizada pela fauna do solo e em seguida, esse material é decomposto pelos microrganismos do solo, sendo que grande parte do carbono é oxidada para o CO_2 e o restante torna-se parte da matéria orgânica do solo, interagindo com a fração mineral do mesmo. A composição bioquímica dos resíduos, a disponibilidade de nutrientes do solo e as

condições climáticas, influenciam sobremaneira a taxa de decomposição do material (CAMPOS et al., 2011; MARQUES et al., 2015).

Os resultados apontam que, na ausência de revolvimento do solo (PDA e PDC), não houve diferença na respiração basal entre as quatro sucessões avaliadas (Tabela 12). Quando houve revolvimento do solo, como no manejo PRA, a maior respiração basal do solo ficou maior na sucessão milho/milho quando comparada a soja/caupi, corroborando os resultados de Costa et al. (2006) na região do Cerrado, que encontraram maior respiração basal em áreas cultivadas com gramíneas do que com leguminosas, atribuindo os resultados a maior relação C/N da gramínea e ao seu elevado potencial de produção de resíduos.

Para o PRT era esperada uma resposta semelhante ao PRA, visto que se trata de um tipo de manejo com maior intensidade de revolvimento do solo. Nesse manejo, a maior respiração foi encontrada no solo da sucessão soja/milho (leguminosa/ gramínea) que não diferiu de milho/milho mas não diferiu das outras duas sucessões. Ou seja, a presença do milho favoreceu o aumento da respiração aliado ao maior revolvimento do solo.

Nunes et al. (2011) encontraram maiores perdas de CO_2 oriundas da rotação soja/milho seguida de milheto no inverno quando comparada a mesma sucessão seguida de mucuna, o que pode ser justificada pelo maior estoque de carbono e maior quantidade de substrato disponível aos microrganismos promovidos pelo milheto. Ao estudar o efeito da adição de resíduos de milho sobre a atividade microbiana tanto em condições de laboratório como a campo, Inagaki et al. (2017) detectaram maior respiração do solo pela alta adição de resíduos sobre a superfície do solo, que funcionou como substrato para a microbiota durante o período experimental.

Em estudos de Siqueira Neto (2009) não foi encontrada influência da sucessão de culturas na taxa de liberação de CO_2 em estudos que utilizaram as sucessões gramínea x gramínea e leguminosa x gramínea. Para Costa et al. (2008) a quantidade, a qualidade e a frequência de adição de resíduos vegetais ao solo, sob variadas taxas de decomposição, constituem fatores importantes no aumento do estoque de carbono e da mitigação da liberação de CO_2 para a atmosfera.

Essa divergência entre resultados encontrados entre os diferentes trabalhos, é que reforça a ideia de Cunha et al. (2011) de que o efeito das sucessões de culturas e do manejo do solo sobre os atributos de qualidade do solo deve ser determinado em escala regional e para cada sistema produtivo, pelo fato de ser influenciado pela mineralogia e textura do solo, pelo relevo, e por condições ambientais como umidade e temperatura.

Comparando as profundidades dentro do mesmo manejo e sucessão (Tabela 12), verificou-se diferença entre as profundidades apenas no solo do manejo PRT dentro da sucessão soja/milho, onde a respiração basal do solo foi maior na profundidade de 0-10 cm.

A atividade microbiana, aqui medida pela respiração basal do solo, está diretamente relacionada a quantidade de resíduos orgânicos. Era esperada maior respiração basal na profundidade de 0-10 cm, sobretudo nos manejos onde não há revolvimento do solo (PDA e PDC), pois é na camada superficial onde está a maior quantidade de resíduos deixada no solo. Sob outra perspectiva, para os manejos com revolvimento do solo, era esperado uma semelhança entre as profundidades, o que não aconteceu no manejo PRT na sucessão soja/milho, onde a profundidade de 0-10 cm apresentou maior respiração basal.

Os valores de respiração basal seguem a mesma tendência do carbono da biomassa microbiana dentro dos manejos e sucessões de culturas na comparação entre as profundidades, onde com exceção do solo sob manejo PRA na seca/2016, não houve diferença entre as profundidades para o carbono da biomassa microbiana do solo.

Em estudos de Balota et al. (2004) ao comparar a respiração basal em dois manejos e com sucessões de plantas diferentes, foram encontradas diferenças entre o sistema plantio direto e o preparo convencional apenas na profundidade de 10-20 cm, onde a respiração basal foi maior no solo do preparo convencional e sob sucessão de soja/trigo quando comparado a milho/trigo.

Na avaliação da respiração basal em dois sistemas de preparo no Sul do país, Babujia et al. (2010) encontraram taxas respiratórias superiores nos primeiros centímetros do solo em sistema plantio direto e sem diferenças entre as camadas até 40 cm em preparo convencional. As diferenças na taxa de respiração em diferentes camadas no perfil do solo seguem a distribuição dos resíduos vegetais e da matéria orgânica do solo (VARGAS, SCHOLLES, 2000).

Na comparação de indicadores de qualidade do solo em áreas sob o sistema plantio direto e outras sob o preparo convencional, Azis et al. (2013) não encontraram diferenças significativas entre as profundidades amostradas (0-30 cm), apesar da tendência de menores valores com o aumento da profundidade, tanto para os valores de respiração basal como para biomassa microbiana do solo.

Para Cunha et al. (2011) a liberação de elevados valores de CO_2 está associada à uma maior atividade biológica, que se relaciona diretamente com a quantidade de carbono disponível no solo. Os autores ainda enfatizam que uma alta taxa de respiração pode indicar situações de

distúrbio, mas também elevado nível de produtividade do sistema, daí a necessidade de muita cautela na interpretação da respiração basal do solo.

5.3.2 Respiração do solo nos manejos, sucessões e épocas

A respiração basal do solo entre os manejos, dentro de cada sucessão e na época da seca/2015 foi maior no solo do manejo PDC com exceção da sucessão milho/caupi onde não houve diferença entre os manejos e na sucessão soja/milho em que a respiração basal foi igual entre o PDC e o PRT. Na época chuvosa/2016 para todas as sucessões a respiração foi maior no solo do manejo PRT e na época da seca/2016 foi maior no PRA (Tabela 13).

Tabela 13. Carbono da respiração basal do solo (RBS mg kg^{-1}solo $hora^{-1}$) em Latossolo Vermelho-Amarelo nos diferentes manejos, sucessões e épocas de amostragem (média das profundidades). Rolim de Moura/RO

MANEJOS	Milho/Caupi	Milho/Milho	Soja/Caupi	Soja/Milho
	RBS (mg kg^{-1}solo $hora^{-1}$)			
		ÉPOCA DA SECA/2015		
PDA	0,33 aA**α**	0,25 bAB**αβ**	0,27 bAB**α**	0,23 bB**β**
PDC	0,38 aA**α**	0,49 aA**α**	0,49 aA**α**	0,38 aA**α**
PRA	0,27 aA**β**	0,26 bA**β**	0,23 bA**β**	0,22 bA**β**
PRT	0,28 aA**β**	0,24 bA**γ**	0,28 bA**β**	0,30 abA**β**
		ÉPOCA CHUVOSA/2016		
PDA	0,37 bA**α**	0,23 cB**β**	0,25 cB**α**	0,43 bA**α**
PDC	0,39 bA**α**	0,30 bcB**β**	0,41 bA**αβ**	0,42 bA**α**
PRA	0,33 bAB**β**	0,43 bA**α**	0,27 bcB**β**	0,30 bB**β**
PRT	0,80 aA**α**	0,86 aA**α**	0,62 aB**α**	0,86 aA**α**
		ÉPOCA DA SECA/2016		
PDA	0,21cA**β**	0,36 bA**α**	0,32 bA**α**	0,35 bA**α**
PDC	0,29 bA**α**	0,31 bA**β**	0,31 bA**β**	0,32 bA**α**
PRA	0,51 aB**α**	0,63 aAB**α**	0,66 aAB**α**	0,78 aA**α**
PRT	0,32 bA**β**	0,38 bA**β**	0,36 bA**β**	0,41 bA**β**

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste t LSD a 5% de probabilidade. As letras minúsculas comparam médias na coluna, as maiúsculas na linha e as letras gregas no mesmo manejo e sucessão, mas em épocas diferentes. PDA: plantio direto alternativo; PDC: plantio direto contínuo; PRA: preparo alternativo e PRT: Preparo tradicional. CV: 57,73%. Média: 0,389.

A respiração basal do solo dentro de cada manejo e na época da seca/2015 não apresentou diferença entre as sucessões para os manejos PDC, PRA e PRT (Tabela 13). No

PDA, a respiração basal foi maior no solo da sucessão milho/caupi quando comparada a soja/milho. Na época chuvosa/2016 e no PDA, a respiração basal foi maior no solo da sucessão milho/feijão e soja/caupi. No PDC ela foi menor e diferente das demais no milho/milho. No PRA milho/caupi e milho/milho foram superiores a sucessão soja/caupi e soja/milho. E no manejo PRT não houve diferença entre as sucessões na respiração basal. Na última época, seca/2016, o único manejo que apresentou diferença entre as sucessões foi o PRA onde a respiração basal foi menor no solo da sucessão milho/caupi.

Na avaliação da respiração basal entre as épocas (Tabela 13), no mesmo manejo e sucessão, a época onde houve maior respiração basal do solo foi na época chuvosa/2016 principalmente associada ao manejo PRT que em todas as sucessões deste manejo esteve entre os que apresentaram maior respiração basal. Ao contrário, nessa mesma época o PRA esteve, com exceção da sucessão milho/milho, entre os que apresentou menos respiração basal. O manejo PRT nas duas épocas da seca esteve entre os manejos que apresentou menos respiração basal em todas as sucessões de culturas, ao contrário da época chuvosa/2016 onde esteve entre os que mais respiraram.

Em relação aos manejos os que mais se destacaram na emissão de CO_2 foram o PRA e o PRT, sobretudo na época chuvosa/2016 e da seca/2016 (Tabela 13). Entre as sucessões as que apresentaram maiores emissões de CO_2 foram milho/caupi, seguida de milho/milho, soja/milho e por último, soja/caupi. Avaliando a respiração basal entre as épocas, a que apresentou os maiores valores foi a época chuvosa/2016.

Partindo-se do pressuposto que a respiração basal do solo está relacionada a intensidade de decomposição, a alta atividade microbiana encontrada no PRT na época chuvosa, pode levar a uma rápida transformação de resíduos orgânicos em nutrientes para as plantas. Dependendo da demanda de nutrientes pela planta, parte destes nutrientes disponibilizados poderão ser utilizados pela própria microbiota do solo, ou até mesmo lixiviados, no caso dos mais solúveis (EVANGELISTA et al., 2013).

Resultados semelhantes foram encontrados por Ferreira Júnior et al. (2017) em pesquisas sobre a emissão de CO_2 em áreas de floresta, pastagens e áreas agrícolas em Santarém/PA. Eles concluíram que tanto a temperatura como a umidade do solo, controlam sobremaneira a atividade microbiana, influenciando dessa forma as emissões de CO_2. Quando os autores compararam a respiração em áreas de preparo convencional e sistema plantio direto, a umidade do solo permitiu valores mais elevados da emissão em áreas sob preparo convencional do que sob sistema plantio direto.

Já na avaliação da respiração basal na época da seca de 2015, dentre os manejos, o que se destacou em maior respiração basal foi o PDC, independente da sucessão. Para Ferreira Júnior et al. (2017) áreas sob sistema plantio direto tendem a apresentar maior umidade, ao contrário de áreas sob preparo convencional onde a umidade do solo diminui com o preparo. A manutenção dos resíduos na superfície do solo, consequentemente uma menor incidência direta dos raios solares, aliados a maior capacidade de armazenamento de água, permitiram maior respiração basal no solo nas áreas sob sistema plantio direto.

Todavia esse comportamento não se repetiu na época da seca de 2016, onde o PRA apresentou maior respiração basal em todas as sucessões. Apesar desse manejo contar com operações de revolvimento do solo, esse revolvimento é mais superficial e menos impactante quando comparado ao PRT, talvez explicando uma menor perturbação do solo e dos resíduos sobre ele deixados e contribuindo para manter a umidade numa faixa adequada para a atividade microbiana.

Na avaliação da emissão de CO_2 em amostras de solo em áreas de pastagens na região do Triângulo Mineiro, Borges et al. (2015) observaram aumento da respiração basal com o aumento da umidade do solo. Para os autores não somente a quantidade de substrato orgânico disponível, mas também a umidade do solo é um fator determinante para a emissão de CO_2. A microbiota do solo envolvida nos processos de decomposição tem uma faixa ideal de umidade que proporciona maior crescimento e atividade (MOREIRA, SIQUEIRA, 2006). Quando há falta de umidade, pode haver restrições em relação a solubilidade dos compostos orgânicos e por outro lado, se há excesso de umidade a atividade microbiana poderá ser dificultada pela diminuição da quantidade de oxigênio (BORGES et al., 2015).

5.3.3 Respiração do solo na floresta e pastagem, nas três épocas

Na floresta, não houve diferença entre as épocas para a respiração basal do solo, diferente da pastagem onde a época chuvosa/2016 apresentou maior respiração basal quando comparada a época da seca/2015 (Tabela 14).

A ausência de diferença entre as épocas na respiração basal encontrados na floresta é devido às condições de umidade do solo nesse ambiente sofrerem menor flutuação de umidade, proporcionando condições mais favoráveis às atividades metabólicas dos microrganismos, os quais tem um intervalo de umidade e temperatura adequados para seu metabolismo (SIQUEIRA, MOREIRA, 2006).

Essas condições, juntamente com a maior disponibilidade de material orgânico para decompor, favorecem a respiração basal. Diferente do que aconteceu na área de pastagem, onde o aporte de resíduos deixados sobre a superfície do solo é menor no período da seca, pois o rebanho não é retirado da área, ainda considerando que onde o solo foi amostrado existem áreas descobertas de gramíneas e com indícios de compactação. Esse fato, segundo Melo et al. (2012), caracteriza condições físicas menos favoráveis para o crescimento e manutenção da microbiota do solo, pela redução da aeração e do teor de oxigênio no solo.

Tabela 14. Carbono da respiração basal do solo (RBS mg.kg^{-1}solo solo^{-1}) em Latossolo Vermelho-Amarelo na floresta e pastagem, em diferentes épocas (média das profundidades). Rolim de Moura/RO

ÉPOCA	Floresta	Pastagem
	RBS (mg kg^{-1}solo hora^{-1})	
ÉPOCA DA SECA/2015	0,47 aA	0,17 bB
EPOCA CHUVOSA/2016	0,33 aA	0,51 aA
ÉPOCA DA SECA/2016	0,53 aA	0,29 abA

As médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste t-LSD a 5% de probabilidade. CV: 45,44%. Média: 0,384.

Na comparação da respiração basal entre os dois usos do solo (Tabela 14) na época chuvosa que não houve diferença entre os tratamentos. Na época da seca/2015 a respiração basal foi maior na floresta. O fato da respiração basal do solo na área de pastagem ter sido inferior à da floresta, nas épocas da seca, pode ser devido ao menor aporte de resíduos orgânicos deixados pela pastagem. No ambiente da floresta, provavelmente as condições foram mais favoráveis à microbiota do solo, devido ao constante e variado aporte de substratos oriundos da maior diversidade de espécies, as quais também apresentam diferentes graus de suscetibilidade à decomposição, a grande quantidade de raízes e a menor variação de umidade (SILVA et al., 2010).

Em solos sob floresta, localizada na porção oriental da Amazônia, Melo et al. (2012) encontraram maior respiração basal em relação a pastagem, devido à substituição da floresta pela *Brachiaria brizantha*, que afetou a abundância e diversidade de insumos adicionados. Afirmaram também que o pisoteio do gado compacta o solo, e há dispersão dos agregados pelo efeito do impacto direto das gotas de chuva, causando redução da aeração do solo e desfavorecendo os microrganismos.

Rangel-Vasconcelos et al. (2015) avaliaram a disponibilidade de água sobre a biomassa microbiana em floresta secundária localizada no Amazonas e, embora tenham observado diferenças na respiração basal entre as épocas de avaliação, essas diferenças não seguiram um padrão consistente de sazonalidade. Esses resultados foram obtidos em amostragem feita na época da seca, que ocorreu após uma breve precipitação. Em ocasiões onde há um longo veranico seguido de chuva, ocorre um estresse osmótico nas células microbianas seguido de lise celular, resultando na liberação de um pulso de nutrientes. Segundo Silva et al. (2010), a respiração depende do estado fisiológico da célula microbiana e é influenciada por vários fatores relacionados ao solo, dentre eles umidade, temperatura, disponibilidade de nutrientes, presença de resíduos orgânicos e a textura.

5.3.4 Respiração basal do solo na floresta, pastagem e manejos agrícolas

Em média 28% das combinações entre manejo, sucessão e épocas, a respiração basal do solo foi diferente entre floresta e manejos agrícolas, e 23% entre pastagem e manejos agrícolas, considerando as duas profundidades (Tabela 15).

Na profundidade de 0-10 cm, independente do manejo e da época, a sucessão onde a respiração basal mais diferiu da encontrada na floresta foi a soja/caupi, e quando nessa sucessão houve diferença a respiração basal teve decréscimo em relação a floresta nos solos sob os manejos PRA e PRT na época da seca/2015 (em média 49%), ou incremento nos manejos PDC e PRT na época chuvosa/2016 (em média 121%) em soja/caupi. Nas demais sucessões houve semelhança entre o número de vezes onde a respiração basal não foi diferente entre os manejos e a floresta.

Na comparação da respiração basal na profundidade de 10-20 cm (Tabela 15), as sucessões que mais diferiram da floresta foram a milho/milho e soja/caupi, sendo que a diferença apareceu, principalmente, como uma redução na respiração basal nos solos sob os manejos PDA e PDC, redução esta que variou entre 42 e 60%. Por outro lado, a sucessão soja/milho foi a que mais se assemelhou a floresta e as diferenças, quando ocorreram, foram decréscimos na respiração basal os quais ficaram em torno de 57%.

Apesar de terem sido observadas algumas alterações na respiração em relação aos manejos agrícolas, na sua grande maioria a área de floresta se destacou em maior atividade respiratória. A maior respiração do solo em áreas florestais indica o aumento da atividade dos microrganismos do solo, provavelmente devido à continua adição de uma fonte exógena de material orgânico lábil ao solo e, ao consequente estímulo da microbiota (Melo et al., 2012).

Tabela 15. Médias da respiração basal do solo (RBS mg kg^{-1}solo $hora^{-1}$) sob diferentes manejos e sucessões de culturas em relação ao solo da floresta e da pastagem, em diferentes épocas e profundidades. Rolim de Moura/RO

MANEJOS	Milho/Caupi	Milho/Milho	Soja/Caupi	Soja/Milho	Milho/Caupi	Milho/Milho	Soja/Caupi	Soja/Milho
	RBS (mg kg^{-1}solo $hora^{-1}$) 0-10 cm				**RBS (mg kg^{-1}solo $hora^{-1}$) 10-20 cm**			
				ÉPOCA DA SECA/2015				
Floresta	**0,55**	**0,55**	**0,55**	**0,55**	**0,38**	**0,38**	**0,38**	**0,38**
Pastagem	**0,18**	**0,18**	**0,18**	**0,18**	**0,15**	**0,15**	**0,15**	**0,15**
PDA	0,32	0,30	0,30	0,30	0,33 α	0,20	0,23	0,16*
PDC	0,42 α	0,51 α	0,56 α	0,44 α	0,34 α	0,46 α	0,42 α	0,32 α
PRA	0,36 α	0,30	0,27*	0,25*	0,17*	0,21	0,20	0,19*
PRT	0,29	0,26*	0,28*	0,31	0,26	0,22	0,28	0,30
				ÉPOCA CHUVOSA/2016				
Floresta	**0,28**	**0,28**	**0,28**	**0,28**	**0,38**	**0,38**	**0,38**	**0,38**
Pastagem	**0,59**	**0,59**	**0,59**	**0,59**	**0,44**	**0,44**	**0,44**	**0,44**
PDA	0,44	0,30 α	0,34	0,39	0,29	0,16 α*	0,15 α*	0,47
PDC	0,45	0,32	0,61*	0,45	0,32	0,28	0,22 α	0,40
PRA	0,33	0,52	0,22 α	0,34	0,32	0,35	0,32	0,27
PRT	0,80*	0,85*	0,62*	1,14 α*	0,80*	0,86 α*	0,62	0,59
				ÉPOCA DA SECA/2016				
Floresta	**0,47**	**0,47**	**0,47**	**0,47**	**0,59**	**0,59**	**0,59**	**0,59**
Pastagem	**0,26**	**0,26**	**0,26**	**0,26**	**0,32**	**0,32**	**0,32**	**0,32**
PDA	0,25	0,40	0,34	0,38	0,17*	0,33	0,29*	0,32
PDC	0,34	0,35	0,28	0,28	0,25*	0,27*	0,35	0,36
PRA	0,49	0,48	0,43	0,64 α	0,54	0,78 α	0,89 α	0,91 α
PRT	0,17*	0,37	0,48	0,57 α	0,46	0,39	0,24*	0,26*

Valores na coluna seguidos de asterisco diferem da Floresta, e seguidos por α diferem da Pastagem pelo Teste de Dunnett ($p<0,05$), dentro de cada época. PDA: plantio direto alternativo; PDC: plantio direto contínuo; PRA: preparo alternativo e PRT: Preparo tradicional. CV:56,47**%**, Média: 0,389.

Destaque deve ser dado ao solo do manejo PRT na profundidade de 0-10 cm, que em todas as sucessões da época chuvosa/2016 apresentou elevada respiração basal em relação a floresta. Essa maior atividade microbiana, aqui medida pela respiração basal do solo, tende a ser maior pela maior quantidade de matéria orgânica decomposta pela biota do solo (Pragana et al., 2012). Distúrbios no solo, como aqueles provocados pelo preparo convencional, podem desencadear desvios de energia que deveriam ser utilizadas para seu crescimento e reprodução, para a manutenção das células microbianas, fazendo com que uma parte do carbono microbiano seja perdida como CO_2 (MATIAS et al., 2009; BELDINI et al., 2015).

Entre os manejos do solo, quando avaliadas as duas profundidades, observa-se que o PRT foi o que mais vezes apresentou diferenças com o ambiente de floresta 23% das vezes, se destacando na maioria das vezes pela maior respiração basal em relação a floresta. Provavelmente essa área sob preparo tradicional não está em estado de equilíbrio, pois para Gama-Rodrigues e Gama-Rodrigues (2008) se a biomassa microbiana do solo está num estado de equilíbrio, as perdas de CO_2 são menores e há maior incorporação de carbono à biomassa microbiana.

Na comparação da respiração basal do solo sob os manejos agrícolas com a encontrada no solo da pastagem (Tabela 15), na profundidade de 0-10 cm a sucessão soja/milho foi a que mais diferiu da pastagem e quando houve diferenças, essas apareceram, principalmente, com o aumento da respiração nos manejos com revolvimento do solo (PRA e PRT).

Na profundidade de 10-20 cm (Tabela 15), a respiração basal apresentou mais diferença na comparação do solo da pastagem com os manejos agrícolas nas sucessões milho/milho e soja/feijão. O PDC nessa profundidade se destacou na época da seca/2015 por apresentar maior respiração basal quando comparado a pastagem, em todas as sucessões de culturas.

Ao contrário, na comparação de área sob soja/milho e outra com braquiária implantada há 10 anos, em Jaciara/MT, houve diferença na respiração basal do solo entre as áreas, sendo que a menor respiração foi encontrada na área de pastagem (Alves et al., 2011). Para os autores, os fatores que podem ter atuado para explicar essa menor respiração na pastagem são a presença de substâncias inibidoras do crescimento dos microrganismos, a composição química dos resíduos, além da disponibilidade nutricional do solo.

A emissão de CO_2 em áreas de florestas, pastagens e agrícolas é dependente da atividade dos microrganismos do solo e mineralização da matéria orgânica, sendo influenciada pelos fatores ambientais como teor de água, temperatura e uso da terra (FERREIRA JÚNIOR, et al., 2017).

O CO_2 produzido pelos microrganismos, caracteriza-se como um subproduto intermediário do metabolismo que produz energia e/ou carbono necessários para a manutenção, crescimento, absorção de íons e reprodução de organismos (LUO, ZOU, 2006). Dessa forma, como esses parâmetros sofrem uma grande variação espaço-temporal e dependem das condições climáticas do ambiente, o estudo da emissão de CO_2 ainda representa grande desafio para os pesquisadores, necessitando de estudos com maior prazo de avaliação.

5.4. QUOCIENTE MICROBIANO DO SOLO

5.4.1 Quociente microbiano do solo nos manejos, sucessões e épocas

Entre os indicadores de qualidade do solo, o quociente microbiano (qMic) é muito utilizado para expressar a eficiência da biomassa microbiana na utilização do carbono orgânico do solo (PRAGANA et al., 2012).

Os resultados estão de acordo com o intervalo citado na literatura, e variaram entre 0,74 a 3,68 %. Em condições normais o qMic varia entre 0,3 e 7% (ANDERSON, DOMSCH, 1989), sendo que valores muito baixos podem ser atribuídos a algum fator limitante à atividade da biomassa microbiana, como acidez do solo, limitação de nutrientes ou má qualidade da matéria orgânica aportada (JAKELAITIS et al., 2008; CUNHA et al., 2012). Por outro lado, valores mais elevados representam maior ciclagem de nutrientes, porque existe maior quantidade de microrganismos em termos de carbono, quando em comparação ao carbono orgânico total (PRAGANA et al., 2012).

Houve interação entre manejo do solo, sucessão de culturas e épocas de coleta para o qMic (Tabela 16). Analisando na época chuvosa/2015, na sucessão milho/caupi não houve diferença no qMic entre os manejos. Na sucessão milho/milho o solo sob PRT apresentou maior qMic do que o PDC e o PRA; em soja/caupi os dois manejos com revolvimento e o PDC foram maiores que o PDA e, na última sucessão soja/milho o PRT não diferiu de PDA e PRA e foi maior que o PDC.

Na época da seca/2015 nas sucessões milho/caupi, soja/caupi e soja/milho o solo do PRA apresentou maior qMic quando comparado aos demais manejos. Na sucessão milho/milho o solo do PRT não diferiu do PRA e foi maior que os manejos sem revolvimento do solo.

Tabela 16. Quociente microbiano (qMic %) em Latossolo Vermelho-Amarelo nos diferentes manejos, sucessões de culturas e épocas de amostragem (média das profundidades). Rolim de Moura/RO

MANEJOS	Milho/Caupi	Milho/Milho	Soja/Caupi	Soja/Milho
	qMic (%)			
	ÉPOCA CHUVOSA/2015			
PDA	1,532 aA**β**	1,877 abA**β**	0,738 bB**γ**	1,265 abA**β**
PDC	1,379 aA**β**	1,098 bA**β**	1,183 aA**αβ**	0,981 bA**γ**
PRA	1,418 aA**β**	1,334 bA**β**	1,121 aA**β**	1,440 abA**β**
PRT	1,869 aA**α**	2,208 aA**α**	1,113 aB**β**	1,856 aA**β**
	ÉPOCA DA SECA/2015			
PDA	1,431 bcA**β**	1,142 bA**γ**	1,319 bA**β**	1,066 bA**β**
PDC	1,118 cA**β**	1,311 bA**β**	0,855 cB**β**	1,235 bA**βγ**
PRA	2,909 aA**α**	2,231 aB**α**	2,576 aAB**α**	2,100 aB**α**
PRT	1,969 bA**α**	1,682 abA**α**	1,704 bA**α**	1,380 bA**β**
	ÉPOCA CHUVOSA/2016			
PDA	2,074 abA**αβ**	1,721 abA**β**	1,059 bB**β**	1,833 bA**αβ**
PDC	2,232 aA**α**	2,130 abA**α**	1,182 bB**αβ**	2,869 bA**α**
PRA	1,444 bAB**β**	1,283 bB**β**	1,944 aA**αβ**	1,086 cB**β**
PRT	1,694 abB**α**	2,328 aB**α**	2,432 aB**α**	3,676 aA**α**
	ÉPOCA DA SECA/2016			
PDA	2,669 aA**α**	2,759 aA**α**	2,410 aA**α**	2,010 aA**α**
PDC	1,509 bA**β**	1,303 bA**β**	1,674 abA**α**	1,635 aA**β**
PRA	2,228 abA**α**	2,007 abAB**α**	1,449 bB**β**	2,040 aAB**α**
PRT	1,816 bA**α**	1,884 bA**α**	1,771 abA**α**	2,019 aA**β**

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste t LSD a 5% de probabilidade. As letras minúsculas comparam médias na coluna, as maiúsculas na linha e as letras gregas no mesmo manejo e sucessão, mas em épocas diferentes. PDA: plantio direto alternativo; PDC: plantio direto contínuo; PRA: preparo alternativo e PRT: Preparo tradicional. CV:52,09**%**, Média: 1,729.

Na época chuvosa/2016 na sucessão milho/caupi o qMic no solo do manejo PDC foi maior que no PRA, em milho/milho o solo do PRT apresentou maior qMic que o do PRA, na sucessão soja/caupi o solo dos dois manejos com revolvimento do solo foram maiores que o PDA e o PDC. Na última sucessão, o PRT se destacou dos demais, apresentando maior qMic.

Na época da seca/2016, o qMic do solo sob manejo PDA foi maior que o do PDC e do PRT nas sucessões milho/caupi e milho/milho; na sucessão soja/caupi o PDA foi maior que o PRA e, em soja/milho não houve diferença entre os manejos.

Entre os manejos, independente da época de avaliação, os solos do PRA e do PRT foram os que apresentaram os maiores qMic (Tabela 16), principalmente quando associados a

sucessão que tinha a soja como espécie cultivada na safra agrícola. O PDC foi o manejo que apresentou os menores qMic.

No estudo de Babujia et al. (2010) desenvolvido em experimento de longa duração em Londrina, o qMic foi diferente na profundidade de 0-5 cm e na de 20-30 cm, com valores superiores no solo sob sistema plantio direto. Na profundidade intermediária de 5-20 cm não houve diferença entre o sistema plantio direto e o preparo convencional.

Os resultados concordam com os de Cunha et al., (2011) onde houve variação no qMic na profundidade de 0-10 cm em solo coletado em áreas de feijão sob preparo convencional ou sistema plantio direto. Os maiores qMic foram observados em áreas de preparo convencional, sob leguminosas quando comparado a gramíneas, sendo que no sistema plantio direto essa diferença não foi observada. Os autores afirmam que menor qMic representa menor utilização de carbono pelos microrganismos do solo, o que pode ser resultado de fatores como limitação de nutrientes e qualidade do material orgânico aportado, pois esse quociente é fortemente influenciado pelo grau de estabilização do carbono orgânico e o histórico de manejo do solo, dentre outros fatores.

Já na região de Londrina/PR na comparação entre sistema plantio direto com o preparo convencional, Franchini et al. (2007) encontraram maiores qMic no plantio direto, atribuindo esse resultado a um concomitante aumento do carbono da biomassa microbiana encontrado nesse sistema. Resultados semelhantes com maior qMic no sistema plantio direto, foram encontrados por Nunes et al. (2011) ao comparar duas áreas, uma no sistema plantio direto e outra sob preparo convencional com sucessão de milho/soja e milheto ou mucuna como plantas de cobertura.

Para Mercante et al. (2004) altos índices de qMic podem indicar que os teores de carbono orgânico do solo são mais altos, ao contrário de índices mais reduzidos os quais indicam perda gradual de carbono no solo, ao longo do tempo.

O qMic foi menor em áreas de soja em sistema plantio direto comparado a áreas sob Latossolo Vermelho-amarelo no Cerrado do Mato Grosso, nas pesquisas de Ramos et al. (2011). No entanto, os autores sustentam a importância desse sistema que deve envolver a rotação de culturas bem como cultivo de plantas de cobertura na entressafra, dado que a perturbação mínima do solo estimula o acúmulo de carbono orgânico nas células dos microrganismos, índice mensurado pelo quociente microbiano.

Entre as sucessões, na época chuvosa/2015 o qMic no solo do manejo PDA foi menor na sucessão soja/caupi (Tabela 16). Nos manejos PDC e PRA não houve diferença entre as sucessões e no PRT o menor qMic foi encontrado em soja/caupi. Na época da seca/2015 nos

manejos PDA e PRT não foram encontradas diferenças entre as sucessões. No PDC o menor qMic foi encontrado na sucessão soja/caupi; no PRA a sucessão milho/caupi foi maior que milho/milho e soja/milho.

Na época chuvosa/2016 e no manejo PDA e PDC, o solo da sucessão soja/caupi foi o que apresentou menor qMic. No manejo PRA, na sucessão soja/caupi o quociente foi maior que milho/milho e soja/milho e no PRT a sucessão soja/milho se destacou das demais com maior qMic. Na última época, na seca/2016, nos manejos PDA, PDC e PRT não houve diferença no quociente entre as sucessões. Para o manejo PRA a sucessão milho/caupi, o quociente foi maior que soja/caupi.

Entre as sucessões, dentro de cada manejo e independente da época (Tabela 16), ocorreu maior qMic no solo das sucessões milho/caupi, seguido de soja/milho, milho/milho e soja/caupi, que dentre todas as sucessões se destacou por apresentar menor qMic.

De acordo com Gama-Rodrigues e Gama-Rodrigues (2008), em solos com material orgânico de difícil decomposição, a população microbiana encontra-se sob situação desfavorável e é incapaz de utilizar totalmente o carbono orgânico, fazendo com que haja uma diminuição do qMic.

Franchini et al. (2007) encontraram maior qMic sob sistema plantio direto em áreas de rotação de culturas com maior proporção de leguminosas em relação às gramíneas. Seu estudo demonstrou que maior proporção de leguminosas para não-leguminosas em rotação favoreceu a acumulação de carbono orgânico e carbono da biomassa microbiana, além de taxas inferiores de emissão de CO_2 o que ressalta a importância do cultivo sob sistema plantio direto e da inclusão de leguminosas como medida eficiente de conservação da matéria orgânica na região tropical.

Almeida et al. (2016) avaliaram atributos microbiológicos em experimento de longa duração (27 anos) instalado sob um Argissolo Vermelho, sob diferentes cultivos de cobertura no sistema plantio direto e encontraram maior qMic na combinação de aveia + ervilhaca (inverno) seguido de milho (verão), quando comparado à aveia (inverno) seguida de milho (verão) e lab-lab (inverno) seguido de milho (verão). Esses resultados podem ser devido a relação C/N mais adequada promovido pelo consórcio entre gramíneas + leguminosas que causam decomposição em tempo intermediário, quando comparados aos cultivos solteiros, disponibilizando maior diversificação de alimento para a população microbiana do solo.

Dependendo do aporte de matéria orgânica ao solo, da eficiência da conversão do carbono microbiano, da sua estabilização pelas frações minerais do solo ou da sua perda, haverá maior ou menor variação no qMic (CUNHA et al., 2011). Os autores ainda ressaltam que a

análise desse quociente indica se o conteúdo de carbono está sendo mantido estável no sistema ou está variando de acordo com as condições impostas ao meio.

O qMic na sucessão milho/caupi, do manejo PDA foi maior na época da seca/2016 quando comparado as duas épocas de 2015 (letras gregas na Tabela 16); no manejo PDC o qMic foi maior na época chuvosa/2016; no PRA o maior qMic foi encontrado nas duas épocas da seca e no PRT não houve diferença entre as épocas.

Na sucessão milho/milho, o qMic no manejo PDA foi maior na seca/2016, apresentou valores intermediários e iguais nas duas épocas chuvosas. O menor qMic foi encontrado na época da seca/2015. No manejo PDC o destaque foi para o período chuvoso/2016 com qMic superior aos demais. No PRA o qMic foi maior nas duas épocas da seca e no PRT não houve diferença entre as épocas.

Para soja/caupi e no manejo PDA, o qMic foi maior na época da seca/2016, com valores intermediários na seca/2015 e época chuvosa/2016, e menor na época chuvosa/2015. No PDC, o maior qMic foi na época da seca/2016 quando comparado a seca/2015. No PRA a época da seca/2015 apresentou o maior qMic e nos demais não houve diferença. Para o PRT o menor qMic foi na época chuvosa/2015 e os demais não apresentaram diferenças.

Na última sucessão soja/caupi, o qMic foi maior na época da seca/2016 para o solo sob manejo PDA, os demais manejos foram menores e não diferiram entre si. No manejo PDC o maior qMic ficou na época chuvosa/2016, intermediário na seca/2016 e menores e iguais nas duas épocas de 2015. Para o PRT, a época chuvosa/2016 apresentou o maior qMic e as demais foram menores e não diferiram entre si.

Entre as épocas, o qMic foi maior na época da seca/2016 (Tabela 16), e apresentou valores mais reduzidos na época chuvosa/2015. O solo sob manejo PRT apresentou maior qMic, sendo encontrado, principalmente, na época chuvosa/2016. Entre as sucessões o maior qMic foi encontrado no solo das sucessões milho/caupi e soja/milho e, principalmente, quando associados a época da seca/2016.

Lourente et al. (2011) compararam o qMic em áreas com diferentes usos do solo numa época de abundante disponibilidade de água e outra da seca e, independente, do uso e manejo do solo (sistema plantio direto, preparo convencional, floresta e pastagem) o qMic foi maior na época chuvosa, também relacionado ao maior acúmulo de carbono da biomassa microbiana.

5.4.2 Quociente microbiano do solo nos manejos, épocas e profundidades

O qMic do solo apresentou interação entre manejo do solo, época e profundidade de coleta (Tabela 17). Na profundidade de 0-10 cm, o quociente foi maior no solo do manejo PRT na época chuvosa/2015 quando comparado ao solo do PDC e do PRA. Na época da seca/2015 foi maior no solo sob PRA. Na época chuvosa/2016, o maior qMic foi no solo do PRT quando comparado ao PDA e PRA e, na época da seca/2016 o PRA foi superior ao PDC e PRT.

Tabela 17. Quociente microbiano (qMic %) em Latossolo Vermelho- Amarelo sob diferentes sistemas de manejo do solo, épocas e profundidades. Rolim de Moura/RO

MANEJOS	Época chuvosa/2015	Época da seca/2015	Época chuvosa/2016	Época da seca /2016
	qMic (%)			
	0 - 10 cm			
PDA	1,439 abB**α**	1,460 bB**α**	1,295 bB**α**	2,381 abA**α**
PDC	1,209 bB**α**	1,108 bB**α**	1,969 abA**α**	1,308 bB**α**
PRA	1,132 bB **α**	2,372 aA**α**	1,420 bB**α**	2,832 aA**α**
PRT	1,923 aAB**α**	1,256 bB**β**	2,386 aA**α**	1,668 bB**α**
	10 - 20 cm			
PDA	1,267 aB**α**	1,019 bB**α**	2,049 bA**α**	2,588 aA**α**
PDC	1,112 aB**α**	1,152 bB**α**	2,238 abA**α**	1,753 bA**α**
PRA	1,52 aB**α**	2,535 aA**α**	1,458 bBC**α**	1,030 cC**β**
PRT	1,600 aB**α**	2,112 aAB**α**	2,679 aA**α**	2,077 abAB**α**

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste t LSD a 5% de probabilidade. As letras minúsculas comparam médias na coluna, as maiúsculas na linha e as letras gregas no mesmo manejo e na mesma época em profundidades diferentes. PDA: plantio direto alternativo; PDC: plantio direto contínuo; PRA: preparo alternativo, PRT: Preparo tradicional. CV:52,09**%**, Média: 1,729.

Na profundidade de 10-20 cm não houve diferença no qMic entre os manejos na época chuvosa/2015. Na época da seca/2015 os manejos com revolvimento do solo apresentaram maior qMic quando comparado aos sem revolvimento. Na época chuvosa/2016, o solo sob PRT apresentou maior qMic em relação ao solo do PDA e do PRA e na última sucessão, o qMic do manejo PDA foi maior, quando comparado ao PDC e PRA.

Em relação ao comportamento do qMic dentro do mesmo manejo em épocas diferentes (Tabela 17), para a profundidade de 0-10 cm, a época da seca/2016 apresentou o maior qMic manejo PDA. No solo do PDC, o maior quociente foi na época chuvosa/2016; no PRA as duas épocas da seca foram superiores as demais, e no manejo PRT o qMic foi maior na época chuvosa/2016 quando comparado as épocas da seca.

Na profundidade de 10-20 cm, as duas épocas de 2016 associadas ao PDA e ao PDC apresentaram maior qMic. No solo do manejo PDC, o maior qMic foi na época chuvosa/2016, sendo superior a época chuvosa/2015.

Analisando o qMic dentro de cada manejo, independente da época e da profundidade (Tabela 17), os manejos que apresentaram maiores quocientes foram PRT seguido do PRA. Os manejos que apresentaram menores quocientes foram o PDC seguido do PDA. Esse resultado indica que as áreas de PRT e PRA apresentaram maior capacidade de reserva de energia e nutrientes imobilizados no tecido da biomassa microbiana. Ao contrário do PDC e do PDA que ao apresentar os menores qMic, indicaram uma menor conversão de carbono orgânico do solo em carbono microbiano (PRAGANA et al., 2012).

Entre as épocas de avaliação, as duas épocas de 2016 apresentaram maior qMic, e entre a época chuvosa e a da seca, a chuvosa/2016 se sobressaiu com maior qMic. Se a biomassa do solo estiver sob com algum tipo de estresse, como temperatura e umidade, sua capacidade de utilização do carbono é reduzida, alterando o qMic para menos (ANDERSON, DOMSCH, 1993).

As diferenças entre as profundidades de amostragem foram detectadas nas duas épocas da seca (Tabela 17), onde o solo do manejo PRT na seca/2015 teve maior qMic na profundidade de 10-20 cm, e o solo do PRA na seca/2016 maior qMic na profundidade de 0-10 cm.

No solo sob PRT, o carbono orgânico do solo foi maior na profundidade de 0-10 cm e o carbono da biomassa microbiana não diferiu entre as profundidades. Essa relação significa quanto do carbono orgânico encontra-se mobilizado na biomassa microbiana. O maior valor em 10-20 cm pode ser provavelmente, pelo efeito do revolvimento das camadas de solo que levou maior quantidade de matéria orgânica para a profundidade de 10-20 cm e também porque, por se tratar de período seco, a biomassa dispunha de melhores condições de umidade nessa profundidade, resultando maior quociente microbiano e mostrando o potencial de reserva de carbono nessa camada. Para o caso do manejo PRA o mesmo comportamento foi verificado nas variáveis carbono orgânico do solo e carbono da biomassa microbiana, com valores superiores na profundidade de 0-10 cm, indicando que a perturbação do solo pode afetar adversamente os microrganismos do solo.

Babujia et al. (2010) mensurando o qMic em diferentes camadas de um Latossolo Vermelho eutroférrico em Londrina, encontraram diferenças maiores na profundidade de 0-10 cm do que na de 10-20 cm, tanto em sistema plantio direto como no preparo convencional, correlacionando-se positivamente com os teores de carbono orgânico e carbono da biomassa microbiana do solo nessas mesmas profundidades.

5.4.3 Quociente microbiano do solo na floresta e na pastagem, em diferentes épocas

Analisando o qMic, que expressa quanto do carbono orgânico do solo está imobilizado na biomassa microbiana, na floresta não houve diferença em nenhuma das épocas avaliadas (Tabela 18). Na pastagem, a época da seca/2015 apresentou maior qMic comparando ao encontrado na época chuvosa/2015 e da seca/2016.

Tabela 18. Quociente microbiano (qMic %) em Latossolo Vermelho-Amarelo na floresta e pastagem, em diferentes épocas (média das profundidades). Rolim de Moura/RO

ÉPOCA	Floresta	Pastagem
	qMic (%)	
ÉPOCA CHUVOSA/2015	1,883 aA	1,117 cA
ÉPOCA DA SECA/2015	1,941 aB	3,271 aA
ÉPOCA CHUVOSA/2016	2,116 aA	2,668 abA
ÉPOCA DA SECA/2016	2,250 aA	1,762 bA

As médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste t-LSD a 5% de probabilidade. CV:37,43**%**, Média: 2,125

Comparando o qMic entre os dois usos do solo, somente na época da seca/2015 a pastagem foi superior a floresta, sendo que nas demais épocas não houve diferença entre os tratamentos. Para Oliveira et al. (2016) em solos com material orgânico de baixa qualidade, a biomassa microbiana encontra-se sob estresse e é incapaz de utilizar totalmente o carbono orgânico, acarretando nesse caso uma redução do qMic. O fato do solo da pastagem ter se destacado do solo da floresta e apresentado maior qMic dentre todos os outros na época da seca/2015, está atrelado ao seu elevado carbono da biomassa microbiana quando comparado às demais áreas, demonstrando maior eficiência dos microrganismos na imobilização do carbono, os quais representam a parte viva e mais ativa da matéria orgânica do solo (CARDOSO et al., 2009).

Elevados teores de carbono microbiano em áreas de floresta resultam em uma situação particular para os microrganismos nesse sistema, que são estimulados pelo aporte contínuo de materiais que apresentam variados graus de suscetibilidade à decomposição. A existência de maior diversidade de compostos orgânicos depositados na rizosfera, torna-se extremamente benéfica à sobrevivência e crescimento de diferentes grupos microbianos do solo (CUNHA et al., 2011).

A conversão da floresta em pastagem cultivada promoveu reduções no quociente microbiano na profundidade de 0-10 cm em relação a três áreas de pastagens com diferentes idades de implantação localizadas no Pantanal Mato-grossense, indicando um provável estresse para os microrganismos do solo, em decorrência da menor cobertura vegetal e, principalmente, pela redução da quantidade e qualidade de substrato orgânico na formação de serapilheira (CARDOSO et al., 2009).

Cunha et al. (2011) encontraram menor qMic em áreas de floresta, em Latossolo Vermelho distrófico em Goiás, quando comparado a áreas cultivadas com feijão na safra e guandu ou mucuna como cultura de cobertura, indicando menor utilização de carbono pelos microrganismos, podendo ser efeito da acidez ou da limitação de nutrientes do solo, ou também devido a baixa qualidade do material orgânico quando comparado às plantas de cobertura.

Uma redução acentuada no qMic microbiano quando a floresta foi substituída por pastagens foi encontrada por Melo et al. (2012). A queima da pastagem causa uma severa, mas temporária diminuição na biomassa microbiana e no quociente microbiano no solo, devido ao efeito imediato do fogo, perda de umidade do solo e elevação do pH.

5.4.4 Quociente microbiano do solo sob floresta, pastagem e manejos agrícolas

Na comparação do qMic encontrado no solo da floresta com o dos manejos agrícolas (Tabela 19), houveram alterações em 14% e 19% nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, respectivamente, independente do manejo, sucessão e época de amostragem. Essas alterações se caracterizaram, principalmente por reduções do quociente as quais ficaram torno de 50 a 65% em ambas as profundidades, seguindo a mesma tendência do carbono da biomassa microbiana, estando associadas principalmente ao manejo PRA.

Na profundidade de 0-10 cm, a sucessão que mais se assemelhou ao solo sob floresta foi a composta por milho/caupi, sendo que a única diferença apareceu na época chuvosa/2015 e no solo do manejo PRA, onde houve redução do qMic. As sucessões milho/milho e soja/caupi apresentaram mais vezes diferenças no qMic quando comparado à floresta e essas diferenças foram reduções no quociente nos solos dos manejos PDC e do PRA (época chuvosa/2015) e do PDA (época da seca/2015).

Tabela 19. Médias do quociente microbiano (qMic %) encontrado sob diferentes manejos e sucessões de culturas em relação ao solo da floresta e da pastagem, em diferentes épocas e profundidades. Rolim de Moura/RO

MANEJOS	Milho/Caupi	Milho/Milho	Soja/Caupi	Soja/Milho	Milho/Caupi	Milho/Milho	Milho/Caupi	Soja/Milho
	qMic (%) 0-10 cm				qMic (%) 10-20 cm			
				ÉPOCA CHUVOSA/2015				
Floresta	**1,936**	**1,936**	**1,936**	**1,936**	**1,830**	**1,830**	**1,830**	**1,830**
Pastagem	**1,219**	**1,219**	**1,219**	**1,219**	**1,016**	**1,016**	**1,016**	**1,016**
PDA	1,814	1,998	0,682*α	1,263	1,250	1,756	0,793*	1,268
PDC	1,547	0,890*	1,362	1,046	1,223	1,307	1,003	0,916 *
PRA	0,875*	0,954*	0,970*	1,730	1,961	1,714	1,272	1,151
PRT	2,274	2,138	1,212	2,068	1,464	2,278 α	1,014	1,644
				ÉPOCA DA SECA/2015				
Floresta	**1,950**	**1,950**	**1,950**	**1,950**	**1,931**	**1,931**	**1,931**	**1,931**
Pastagem	**2,564**	**2,564**	**2,564**	**2,564**	**3,978**	**3,978**	**3,978**	**3,978**
PDA	2,195	0,967* α	1,363	1,315	0,666 * α	1,317α	1,276 α	0,817 * α
PDC	1,053 α	1,547	1,006 α	0,825* α	1,182 α	1,075α	0,705 * α	1,645 α
PRA	2,747	1,714	2,751	2,277	3,070	2,748	2,400 α	1,924 α
PRT	1,993	1,150 α	0,801* α	1,079 α	1,945 α	2,214 α	2,608	1,681 α
				ÉPOCA CHUVOSA/2016				
Floresta	**1,859**	**1,859**	**1,859**	**1,859**	**2,372**	**2,372**	**2,372**	**2,372**
Pastagem	**2,379**	**2,379**	**2,379**	**2,379**	**2,957**	**2,957**	**2,957**	**2,957**
PDA	1,500	1,334	1,120 α	1,225	2,648	2,110	0,999 * α	2,438
PDC	2,057	2,187	1,135 α	2,498	2,407	2,074	1,229 α	3,240
PRA	1,348	1,475	1,827	1,032 α	1,541	1,092 * α	2,061	1,140 * α
PRT	1,194	2,692	2,170	3,487*	2,194	1,964	2,693	3,866
				ÉPOCA DA SECA/2016				
Floresta	2,112	2,112	2,112	2,112	2,388	2,388	2,388	2,388
Pastagem	1,839	1,839	1,839	1,839	1,685	1,685	1,685	1,685
PDA	2,483	2,952	1,856	2,235	2,855	2,566	2,965	1,965
PDC	1,465	1,161	1,427	1,179	1,554	1,445	1,922	2,091
PRA	3,467 α	2,914	1,961	2,986	0,989 *	1,100*	0,939 *	1,094 *
PRT	1,402	2,158	1,217	1,895	2,230	1,609	2,325	2,142

Valores na coluna seguidos de asterisco diferem da Floresta, e seguidos por α diferem da Pastagem pelo Teste de Dunnett ($p<0,05$), dentro de cada época. PDA: plantio direto alternativo; PDC: plantio direto contínuo; PRA: preparo alternativo e PRT: Preparo tradicional. CV: 50,63. Média: 1,773

Na profundidade de 10-20 cm, as sucessões que mais se assemelharam a floresta foram as que tinham a cultura do milho plantada na safra, sendo que as diferenças quando apareceram, predominaram no solo do manejo PRA, com menor qMic. As sucessões com soja na safra, apresentaram mais vezes diferenças no qMic quando comparado à floresta, onde novamente houveram reduções do quociente.

Resultados semelhantes foram encontrados por Ferreira et al. (2010) na avaliação de indicadores de qualidade em experimento de longa duração em Passo Fundo/RS, onde nas áreas de floresta o qMic foi mais elevado quando comparado aos da área sob sistema plantio direto e preparo convencional, sendo esse último o que apresentou os menores valores, indicando assim que a quantidade de carbono microbiano em proporção ao carbono orgânico total é maior na área de floresta.

Em ambiente amazônico, na região de Cerejeiras/RO, Matoso et al. (2012) encontraram maior qMic em áreas de floresta quando comparados aos encontrados sob cultivo mínimo, seguido do sistema plantio direto e por último em preparo convencional, concluindo que a maior eficiência da microbiota do solo em imobilizar carbono orgânico é inversamente proporcional a intensidade de revolvimento do solo.

Quociente microbiano mais elevado em áreas de floresta são explicados pela maior diversidade de espécies vegetais quando comparado aos ambientes agrícolas, o que significa maior deposição de substratos orgânicos oxidáveis de composição química mais variada, tanto na superfície como na rizosfera, que representa um fator favorável à sobrevivência e ao crescimento de diferentes grupos da população microbiana (CUNHA et al., 2012; MATOSO et al., 2012). As características distintas dos solos encontrados em áreas de floresta aliada a ausência de perturbação promovida pelas atividades antrópicas, resultam em maior carbono da biomassa, como também do qMic (FERREIRA et al., 2010).

A substituição da pastagem por áreas agrícolas promoveu alterações no qMic em 19% nas combinações dos tratamentos na profundidade de 0-10 cm e 27% na profundidade de 10-20 cm (Tabela 19), ou seja, houve maior variação no quociente em maior profundidade.

Na profundidade de 0-10 cm, as sucessões onde a mudança de uso do solo menos influenciou o qMic foi em milho/caupi e milho/milho. A sucessão que mais diferiu da pastagem foi soja/caupi e essas diferenças estiveram relacionadas a um decréscimo do qMic microbiano entre 44 a 69%, quase sempre nos solos sob os manejos PDA e PDC. Em duas situações houve elevação do qMic, ou seja, na sucessão milho/caupi e no manejo PRA, na época da seca/2016 (aumento de 88% em relação a pastagem) e em soja/milho, associado ao PRT, na época chuvosa/2016 (aumento de 47%).

O qMic na profundidade de 10-20 cm, apresentou mais situações onde o solo da área de pastagem foi diferente das áreas agrícolas, sendo que quando houve decréscimo do quociente, esse decréscimo variou entre 66% a 83%. As sucessões que mais diferiram da pastagem foram as que tinham soja plantada na safra, sendo que as diferenças quando apareceram, predominaram no solo sob manejo PDA e PDC, com menor qMic. Comparando o qMic em áreas de braquiária com áreas de cultivo agrícola sob diferentes manejos, Matoso et al. (2012) não encontraram diferenças no quociente quando comparado ao sistema de cultivo mínimo, diferente das áreas sob sistema plantio direto e preparo convencional.

Em Gurupi/TO, Fidelis et al. (2016) não encontraram diferenças entre o qMic em áreas com consórcio de pinhão-manso/arroz/caupi em comparação com a pastagem. Já em Rio Casca/MG, Jakelaitis et al. (2008) encontraram maior qMic em ambiente de pastagem de braquiária em consórcio com milho e braquiária em rotação pastagem/soja/pastagem, em relação aos valores encontrados em pastagens somente de braquiária estabelecida há dez anos e também em áreas de milho com cinco anos sob sistema plantio direto com pousio no inverno. No entanto, ao calcular o índice de qualidade do solo, a pastagem sozinha mostrou-se muito afastada da área de floresta da área padrão do gráfico, indicando que o manejo adotado nessa área não está priorizando a sustentabilidade desse sistema.

Em pesquisas de Mazzeto et al. (2016), que avaliaram as alterações na comunidade microbiana do solo após a mudança da vegetação natural para uso do solo com pastagens ou com agricultura na Amazônia, o qMic foi maior nas áreas de pastagens, e não diferiram entre áreas nativas e áreas com agricultura. Uma explicação para o fato desse indicador de qualidade mostrar semelhança entre áreas nativas e pastagens é que a maioria das pastagens amostradas no trabalho tinham idade entre 10-25 anos, as quais mostravam de maneira geral um alto conteúdo de carbono e elevada biomassa de raízes, características essas que influenciam diretamente a população microbiana.

Nas duas ocasiões onde houve um acréscimo significativo do qMic em relação ao encontrado na pastagem (Tabela 19), ou seja, na sucessão milho/caupi e no manejo PRA (época da seca/2016) indicam a eficiência dos microrganismos na utilização dos compostos orgânicos e a alta qualidade da matéria orgânica do solo (DADALTO et al., 2015). A população microbiana representa um importante reservatório de elementos como o nitrogênio e o carbono, que fica temporariamente imobilizado nos seus tecidos, assegurados contra a perda e sendo liberados de maneira lenta e gradual (ALMEIDA et al., 2016).

A análise desse quociente possibilita acompanhar a qualidade da matéria orgânica do solo, permitindo acompanhar o nível de perturbação promovido por desequilíbrios ecológicos

e variações no conteúdo da matéria orgânica ocasionadas pelo manejo, respondendo de forma mais rápida que os indicadores químicos e físicos (MAZZETO et al., 2016).

5.5. QUOCIENTE METABÓLICO DO SOLO

5.5.1 Quociente metabólico do solo nos manejos, épocas e profundidades

O quociente metabólico (qMet) representa a quantidade de moléculas de gás carbônico (CO_2) produzidas para incorporar um átomo de carbono na biomassa microbiana, e corresponde a relação entre a respiração basal e o carbono da biomassa microbiana do solo. De acordo com Porto et al. (2009) e Babujia et al. (2010) quanto menor seu valor, menos carbono na forma de CO_2 será perdido pela respiração, representando assim uma maior eficiência da microbiota do solo em incorporar carbono aos seus tecidos. Esse quociente tem se destacado como indicador de qualidade do solo, por ser mais sensível a mudanças no manejo do que a respiração basal.

Houve interação entre manejo do solo, época de amostragem e profundidade para o qMet (Tabela 20). Na profundidade de 0-10 cm, na época da seca/2015 não houve diferença no qMet entre os solos sob manejo PDA, PDC e PRT, ficando o solo sob PRA com o menor valor. Na época chuvosa/2016 não houve efeito do manejo no solo no qMet. Já na época da seca/2016, o solo sob PRT apresentou maior qMet quando comparado ao PDA, sem diferir do PDC e do PRA.

Na profundidade de 10-20 cm, na época da seca/2015 o qMet do solo sob PDC não diferiu do PDA, mas foi superior ao PRA e ao PRT. Na época chuvosa, o solo do PRT não diferiu do PRA, mas apresentou maior qMet que PDA e PDC. Na última época, a da seca/2016 o solo do manejo PRA apresentou o maior qMet, sendo que entre os demais manejos não houve diferença.

Dentre os quatros manejos do solo, independente da época e da profundidade, o maior qMet foi encontrado nos manejos PRT, seguido do PDC, PDA e PRA, principalmente associados à época da seca.

Balota et al. (2012), aplicaram diferentes doses de esterco suíno em Latossolo Vermelho eutrófico, no Paraná, em áreas cultivadas sob sistema plantio direto e preparo convencional, com diferentes sucessões de culturas e, independentemente da dose do esterco, o qMet do sistema plantio direto reduziu 24% em relação ao encontrado no preparo convencional.

Tabela 20. Quociente metabólico (qMet mg.kg^{-1} RBS/mg.kg^{-1} CBM) em Latossolo Vermelho-Amarelo sob diferentes sistemas de manejo do solo, épocas e profundidades. Rolim de Moura/RO

MANEJOS	Época da seca/2015	Época chuvosa/2016	Época da seca/2016
	qMet (mg.kg^{-1} RBS/ mg.kg^{-1} CBM)		
		0 - 10 cm	
PDA	0,042 aAB**α**	0,051aA**α**	0,023 bB**α**
PDC	0,066 aA**α**	0,044 aAB**α**	0,035 abB**α**
PRA	0,023 bB**α**	0,047 aA**α**	0,029 abAB**β**
PRT	0,047 aB**α**	0,072 aA**α**	0,044 aB**α**
		10 - 20 cm	
PDA	0,043 abA**α**	0,029 bAB**α**	0,021 bB**α**
PDC	0,072 aA**α**	0,033 bB**α**	0,032 bB**α**
PRA	0,016 cC**α**	0,044 abB**α**	0,130 aA**α**
PRT	0,031 bB**α**	0,066 aA**α**	0,034 bB**α**

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste t LSD a 5% de probabilidade. As letras minúsculas comparam médias na coluna, as maiúsculas na linha e as letras gregas no mesmo manejo e na mesma época em profundidades diferentes. PDA: plantio direto alternativo; PDC: plantio direto contínuo; PRA: preparo alternativo, PRT: Preparo tradicional. CV:79,09**%**, Média: 0,045.

Segundo os autores, qMet inferiores são esperados em sistemas mais estáveis, como o sistema plantio direto, sendo que as variações podem ser oriundas da dificuldade de acesso ao carbono dos substratos pelos microrganismos, alterações no metabolismo e na composição da comunidade microbiana.

Quociente metabólico mais baixo em áreas sob sistema plantio direto pode também ser devido a mudança na comunidade microbiana com predomínio de maior biomassa fúngica, sendo que esses organismos têm metabolismo mais eficiente que as bactérias, assimilando com maior facilidade o carbono disponível no substrato orgânico (BALOTA et al., 2012; BELDINI et al., 2015).

Em sistemas de produção menos conservacionistas são esperados incrementos no qMet (FRANCHINI et al., 2007; MALUCHE-BARETTA et al., 2007; SILVA et al., 2007). Em contrapartida, sistemas com capacidade de proporcionar uma comunidade microbiana mais eficiente, associada com o aumento da biomassa microbiana e a redução do CO_2 emitido pelo solo, têm implicações importantes na agricultura de conservação e contribuem para a melhoria da qualidade do solo e preservação do meio ambiente, pois se uma quantidade menor de carbono for liberada do solo, mais carbono poderá ser estocado na matéria orgânica (BALOTA et al., 2012; CUNHA et al., 2012).

Valores de qMet mais baixos são esperados em solos sob sistema plantio direto pois, segundo Cunha et al. (2012), o não-revolvimento do solo, a manutenção da cobertura morta menor rompimento das hifas fúngicas, aumento da umidade e menor flutuação de temperatura proporcionam condições mais favoráveis ao desenvolvimento da população microbiana.

Ao avaliar o qMet na profundidade de 0-10 cm (Tabela 20), dentro de cada manejo, mas em épocas diferentes, temos que no solo sob PDA o qMet foi maior na época chuvosa/2016 em relação a seca/2016, e a época da seca/2015 apresentou valores intermediários. No solo sob manejo PDC, a época da seca/2015 foi igual a época chuvosa/2016, mas foi maior que na seca/2016. No solo do PRA o qMet foi maior na época chuvosa/2016 do que na seca/2015, e se igualou a época da seca/2016. Por último o solo do manejo PRT apresentou maior qMet na época chuvosa/2016 e os menor nos dois períodos da seca.

Na profundidade de 10-20 cm (Tabela 20), o solo do manejo PDA apresentou maior qMet na época da seca/2015 quando comparado a seca/2016, sendo que na época chuvosa/2016 os valores foram intermediários. No solo sob PDC, a época da seca/2015 foi maior que a época chuvosa e seca, ambas de 2016. No PRA, o qMet foi maior na época da seca/2016, apresentou valores intermediários na época chuvosa/2016 e na seca/2015 foi menor. No manejo PRT, o qMet da época chuvosa foi superior aos encontrados nas duas épocas da seca, assim como na profundidade de 0-10 cm.

O maior qMet esteve associado, principalmente, à época chuvosa e ao manejo PRT, indicando que em condições de maior disponibilidade de água e com maior revolvimento do solo existe uma maior atividade microbiana.

Na avaliação das alterações nos atributos microbiológicos em função da variação sazonal e de diferentes sistemas de produção em pomares de maçã (MALUCHE-BARETTA et al., 2007), áreas de floresta de araucária (CARVALHO et al., 2012) e macaubeiras (DINIZ et al., 2014) foi registrado maior qMet na época com temperaturas mais elevadas e com maior umidade, segundo os autores devido ao constante aporte de substratos orgânicos e também a grande quantidade de raízes no solo.

Para Beldini et al. (2015) a análise do qMet permite medir a eficiência da atividade metabólica da população microbiana, onde menores valores indicam que menor quantidade de CO_2 é perdido para a atmosfera e o ambiente está mais próximo da condição de um estado estacionário. Para os autores menor qMet em épocas com menor disponibilidade de umidade podem refletir no estabelecimento de uma comunidade microbiana menos diversificada.

Houve diferença para o qMet apenas na época da seca/2016 e no solo sob manejo PRA (Tabela 20), onde o maior quociente foi encontrado na profundidade de 10-20 cm. Babujia et

al. (2010) encontraram menor qMet nas camadas superficiais do solo (0-10 cm) em sistema plantio direto e preparo convencional quando comparadas a camada de 10-20 cm, indicando maior eficiência da microbiota do solo em utilizar o carbono, mantendo ou aumentando teores do carbono orgânico do solo.

5.5.2 Quociente metabólico do solo na floresta e pastagem, em diferentes épocas

Na floresta, o qMet não variou entre as épocas, diferente da pastagem onde na época da seca/2015 foi encontrado o menor quociente, sendo que na época chuvosa/2016 não apresentou diferença da seca do mesmo ano (Tabela 21).

Tabela 21. Quociente metabólico (qMet - CO mg.kg^{-1} RBS/ mg.kg^{-1} CBM) em Latossolo Vermelho-Amarelo na floresta e pastagem, em diferentes épocas (média das profundidades). Rolim de Moura/RO

ÉPOCA	Floresta	Pastagem
	qMet (mg.kg^{-1} RBS/ mg.kg^{-1} CBM)	
ÉPOCA DA SECA/2015	0,036 aA	0,011 bB
ÉPOCA CHUVOSA/2016	0,028 aA	0,038 aA
ÉPOCA DA SECA/2016	0,029 aA	0,029 aA

As médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste t-LSD a 5% de probabilidade. CV:45,87**%**, Média: 0,029.

Beldini et al. (2015), avaliando o qMet na Floresta Nacional do Tapajós, em amostras coletadas na época chuvosa e da seca, não encontraram diferenças entre as épocas. Os autores atribuem esses resultados à elevada quantidade de compostos instáveis que são aportados nesse ecossistema, principalmente na época chuvosa, além da alta diversidade e eficiência da comunidade microbiana capazes de metabolizar a grande quantidade de nutrientes aportados.

Nas áreas de pastagem, o menor qMet encontrado na época da seca/2015 pode indicar uma baixa atividade da população microbiana, já que a respiração basal também foi baixa, em resposta a menor umidade ou ao menor conteúdo de substrato orgânico oferecido pela pastagem na época da seca. Ou também pode ter havido uma mudança na comunidade dos microrganismos, preponderando os mais adaptados e eficientes metabolicamente. Como consequência, os menores qMet podem indicar que menos CO_2 foi perdido para a atmosfera e mais carbono foi incorporado na biomassa microbiana (BELDINI et al., 2015), confirmados

pelos valores do carbono da biomassa microbiana demonstrando a eficiência da microbiota do solo.

Comparando o qMet entre os dois diferentes usos do solo, houve diferença na época da seca/2015 onde o quociente foi maior no solo sob floresta, sendo que nas demais épocas não houve diferença. Maio qMic na floresta e na época da seca/2015 podem indicar melhores condições de umidade e temperatura, além de maior quantidade de insumos orgânicos adicionados promovidos pelo ambiente da floresta.

No entanto, o carbono da biomassa microbiana na época da seca/2015 não diferiu entre floresta e pastagem e, a respiração basal nessa mesma época foi menor na pastagem. Isso indica que a população microbiana da pastagem foi mais eficiente em transformar carbono em tecido microbiano, desprendendo menos CO_2 para a atmosfera, pois como afirmam Reis e Mendes (2007), para os mesmos valores de carbono da biomassa microbiana, os que apresentam menor respiração basal são oriundos de uma comunidade microbiana mais eficiente.

Não houve diferença no qMet em amostras de solo coletadas em áreas de floresta e de pastagem com idade entre 10 e 12 anos, como reportam Melo et al. (2012) em estudos realizados sob Latossolo Vermelho distrófico localizado no Pará, indicando que a população microbiana havia chegado a um novo nível de equilíbrio.

5.5.3 Quociente metabólico do solo sob floresta, pastagem e manejos agrícolas

O qMet foi alterado em 7% das combinações de manejos, sucessões e épocas em relação aos encontrados na floresta, na profundidade de 0-10 cm, e em 19% na profundidade de 10-20 cm (Tabela 22).

Na profundidade de 0-10 cm, o solo das sucessões milho/milho e soja/milho não apresentaram em nenhum manejo diferenças no qMet em relação ao solo sob floresta (Tabela 22). Ou seja, a mudança de uso do solo não influenciou o qMet nas sucessões milho/milho e soja/milho, independente do manejo. A sucessão milho/caupi foi a que apresentou mais diferenças da floresta, onde aumentos do qMet foram encontrados no PDA e no PRT na época chuvosa/2016.

Tabela 22. Médias do quociente metabólico (qMet mg.kg^{-1} RBS/ mg.kg^{-1} CBM) encontrado sob diferentes manejos e sucessões de culturas em relação ao solo da floresta e da pastagem, em diferentes épocas e profundidades. Rolim de Moura/RO

MANEJOS	Milho/Caupi	Milho/Milho	Soja/Caupi	Soja/Milho	Milho/Caupi	Milho/Milho	Soja/Caupi	Soja/Milho
	qMet (mg.kg^{-1} RBS/mg.kg^{-1} CBM) 0-10 cm				qMet (mg.kg^{-1} RBS/mg.kg^{-1} CBM) 10-20 cm			
				ÉPOCA DA SECA/2015				
Floresta	**0,040**	**0,040**	**0,040**	**0,040**	**0,032**	**0,032**	**0,032**	**0,032**
Pastagem	**0,013**	**0,013**	**0,013**	**0,013**	**0,010**	**0,010**	**0,010**	**0,010**
PDA	0,029	0,048α	0,037 α	0,054 α	0,078 α	0,030 α	0,031 α	0,033 α
PDC	0,064α	0,046 α	0,074 α	0,080 α	0,060 α	0,082 α	0,093* α	0,052 α
PRA	0,022	0,031	0,017	0,023	0,011*	0,015	0,020	0,020
PRT	0,025	0,048 α	0,064 α	0,051 α	0,031 α	0,027 α	0,026 α	0,038 α
				ÉPOCA CHUVOSA/2016				
Floresta	**0,026**	**0,026**	**0,026**	**0,026**	**0,030**	**0,030**	**0,030**	**0,030**
Pastagem	**0,043**	**0,043**	**0,043**	**0,043**	**0,032**	**0,032**	**0,032**	**0,032**
PDA	0,071*	0,030	0,049	0,056	0,027	0,015	0,030	0,044
PDC	0,036	0,024	0,086*	0,031	0,031	0,031	0,041	0,029
PRA	0,039	0,055	0,033	0,062	0,034	0,056	0,046	0,041
PRT	0,105*	0,064	0,058	0,063	0,093* α	0,091* α	0,051	0,028
				ÉPOCA DA SECA/2016				
Floresta	**0,027**	**0,027**	**0,027**	**0,027**	**0,032**	**0,032**	**0,032**	**0,032**
Pastagem	**0,027**	**0,027**	**0,027**	**0,027**	**0,031**	**0,031**	**0,031**	**0,031**
PDA	0,013	0,021	0,032	0,026	0,011* α	0,026	0,019	0,029
PDC	0,034	0,040	0,031	0,035	0,030	0,027	0,036	0,034
PRA	0,021	0,028	0,034	0,033	0,090* α	0,117* α	0,154* α	0,159* α
PRT	0,021	0,028	0,068	0,059	0,043	0,052	0,016	0,025

Valores na coluna seguidos de asterisco diferem da Floresta, e seguidos por α diferem da Pastagem pelo Teste de Dunnett ($p<0,05$), dentro de cada época. PDA: plantio direto alternativo; PDC: plantio direto contínuo; PRA: preparo alternativo e PRT: Preparo tradicional. CV:79,09**%**, Média: 0,043

O qMet do solo da sucessão soja/milho, na profundidade de 10-20 cm, ficou mais semelhante ao encontrado na floresta, onde a exceção foi encontrada no PRA e na época da seca/2016. A sucessão que mais diferiu das condições da floresta foi a milho/caupi, e essas diferenças se caracterizaram como reduções qMet no solo sob PRA e PDA nas duas épocas da seca, ou aumentos do quociente no solo sob PRT e PRA (época chuvosa e seca de 2016, respectivamente). O PRA se destacou como o manejo que, na época da seca/2016 e em todas as sucessões, mostrou incrementos no qMet em relação a floresta

Apesar das poucas ocorrências de mudanças no qMet em relação a floresta sobretudo na profundidade de 0-10 cm, dentre os manejos que mais se diferenciaram foram os que tem revolvimento do solo (PRA e PRT) onde essas diferenças representaram aumentos do quociente.

Os resultados encontrados corroboram os de Stone et al. (2011) que, usando o solo da floresta como referência, encontraram diferenças no qMet, na profundidade de 0-10 cm, em áreas de pousio e em áreas sob sistema plantio direto conduzida com feijão/guandu, milho/mucuna ou milho/sorgo. Nesse caso, o qMet foi menor ao encontrado na floresta, ao contrário da área onde o sistema de preparo apresentava revolvimento do solo, onde teve aumento do qMet devido ao distúrbio provocado pelo rompimento dos agregados e maior apenas na profundidade de 0-10 cm em exposição da matéria orgânica a mineralização pela microbiota do solo.

No entanto, para Pragana et al. (2012) a remoção da vegetação nativa para implementação de agricultura, mesmo sob o sistema plantio direto aumentou consideravelmente o qMet em áreas onde o sistema havia sido instalado há quatro anos, com valores intermediários em áreas com três e oito anos, indicando que uma alta transformação de nutrientes que seriam disponibilizados às plantas ou mesmo a uma situação de estresse, que os autores atribuem ao transito de máquinas e implementos agrícolas por ocasião da semeadura e colheita.

Devido ao tempo de adoção dos sistemas conservacionistas nas áreas experimentais e as poucas ocorrências de diferenças com a floresta, esse agrossistema está próximo a um estado mais estável. Isso pode ser confirmado pelo baixo qMet, pois uma vez que a biomassa microbiana se torna mais eficiente na utilização dos recursos do sistema, menor quantidade de CO_2 é liberado pelo processo da respiração. E maior proporção de carbono será incorporado aos tecidos microbianos, resultando em redução do qMet (STONE et al., 2011).

Na comparação do qMet do solo de áreas agrícolas com o da pastagem (letra α na Tabela 22), houve alteração em 21% dos valores, na profundidade de 0-10 cm, independentemente do manejo, sucessão ou época, e em 40% na profundidade de 10-20 cm.

Na profundidade de 0-10 cm, a sucessão que mais se assemelhou a encontrada na pastagem foi milho/caupi, sendo a única diferença entre o qMet foi encontrado no PDC da época da seca/2015, onde houve aumento. As demais sucessões foram semelhantes entre si nas diferenças com a pastagem, e os acréscimos apareceram sempre na época da seca/2015.

As sucessões que tinham soja como cultura plantada na safra foram as que mais se assemelharam ao qMet encontrado na pastagem, na profundidade de 10-20 cm. Quando houveram diferenças, essas ocorreram na forma de aumentos do qMet, principalmente na época da seca/2015. A sucessão milho/caupi foi a que mais se diferenciou da pastagem, onde as diferenças contatadas ocorreram, principalmente, como acréscimos no qMet, associados quase sempre aos manejos com revolvimento do solo.

Importante ressaltar que quando foi verificada diferença entre o qMet na comparação do solo da pastagem com o dos manejos agrícolas, essa diferença se traduziu, na maioria das vezes, em aumentos do quociente. Esses aumentos estiveram concentrados na época da seca/2015 e na seguinte ordem PDC>PDA=PRT>PRA. Solos com baixo qMet como os encontrados na pastagem em comparação com os manejos agrícolas, encontram-se perto do equilíbrio, indicando ambientes menos estressados, onde existe menor consumo de carbono para a manutenção da biomassa microbiana (BELDINI et al., 2015; SILVA et al., 2015).

Os resultados apontam mais diferenças no qMet em relação a retirada da pastagem para implantação da agricultura do que com a retirada da floresta. Como os resíduos das plantas são fonte de carbono e nutrientes para a microbiota do solo, promovendo maior atividade biológica quando da sua introdução no sistema (POWLSON et al., 1987), esses resultados podem ser atribuídos a menor diversidade e quantidade do material aportado pela pastagem de braquiária.

Quociente metabólico mais elevado indica que os insumos orgânicos são de baixa qualidade e que os microrganismos estão oxidando carbono de suas próprias células para a manutenção e adaptação ao solo (ALVES et al., 2011; BELDINI et al., 2015). Além disso, áreas com menor diversidade de cobertura vegetal, geralmente apresentam maior qMet (ALMEIDA, 2012).

5.6. Considerações relativas dos indicadores nos diferentes usos e manejos do solo

A crescente preocupação com a sustentabilidade na produção de alimentos tem levado a busca de técnicas de manejo mais adequadas que contemplem a conservação do solo e da água, o aumento da produtividade e a redução do custo de produção. Como forma de monitorar

a eficiência do manejo do solo são utilizados os indicadores químicos e microbiológicos de qualidade capazes de informar por meio das alterações qualitativas e quantitativas na população de microrganismos e como está sendo o impacto dessas ações sobre o ecossistema solo.

Avaliando o carbono orgânico do solo nos quatro manejos agrícolas, os que apresentaram, percentualmente, teores semelhantes aos encontrados na floresta foram o PDA e o PDC, com exceção dos manejos com revolvimento do solo (PRA e PRT) onde foram verificados as maiores perdas de carbono (Figura 3). O preparo do solo e a substituição da vegetação natural de floresta pelos cultivos agrícolas, permite aos microrganismos do solo maior acesso a matéria orgânica e, consequentemente, ao carbono orgânico, aumentando a velocidade de decomposição dos resíduos vegetais. Na ausência do revolvimento do solo, como acontece no PDC e no PDA, ou em solos sob vegetação natural, o carbono orgânico fica protegido física e quimicamente contra a degradação biológica.

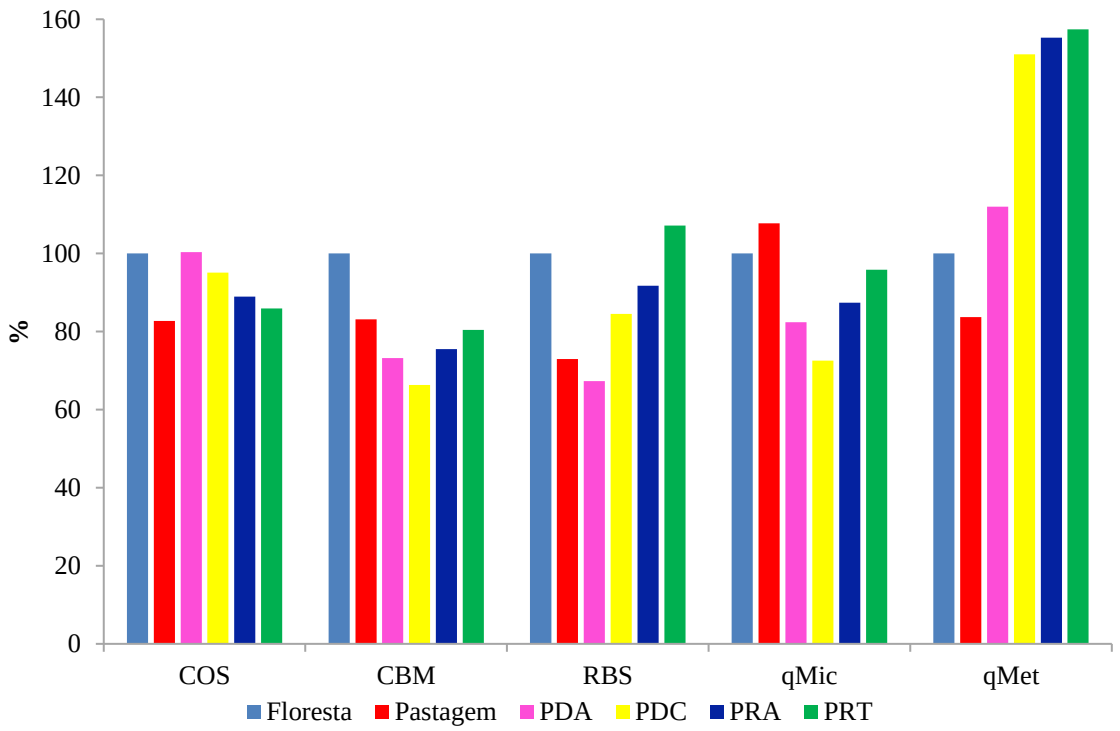


Figura 3 - Média geral da porcentagem dos indicadores de qualidade do solo (COS - carbono orgânico do solo, CBM - carbono da biomassa microbiana, RBS - respiração basal do solo, qMic - quociente microbiano e qMet - quociente metabólico) nos diferentes usos do solo em comparação com a floresta (média das épocas e profundidades). Rolim de Moura/RO

A pastagem foi a que apresentou maiores diferenças percentuais no carbono em relação a floresta, apresentando uma redução de 17,3 % no valor do carbono, o que indica que a mesma não está sendo manejada adequadamente, para que haja sobra de resíduos vegetais que possam ser transformados em matéria orgânica.

Para o carbono da biomassa microbiana do solo, houve redução percentual nos teores para todos os usos do solo, quando comparado ao solo da floresta, sendo que as maiores diferenças foram encontradas nos manejos conservacionistas PDA e PDC. Era esperado teores de carbono da biomassa mais elevados e/ou próximos aos encontrados na floresta, no solo dos manejos que preservam os resíduos orgânicos na superfície do solo, pois nesses ambientes a temperatura e a umidade do solo, são mais favoráveis ao crescimento e desenvolvimento dos microrganismos e das plantas. O carbono da biomassa microbiana do solo da pastagem, foi o que apresentou teores percentuais mais próximos aos encontrados na floresta, provavelmente pela ausência do revolvimento do solo.

Existe uma relação proporcional entre os teores de carbono da biomassa microbiana e a população de microrganismos, os quais tem imobilizado nas suas células grande quantidade de nutrientes. Pela labilidade dessa fração da matéria orgânica, esses nutrientes por meio da mineralização poderão ser disponibilizados às plantas e as os próprios microrganismos numa velocidade maior, comparada a velocidade de decomposição dos resíduos vegetais ou animais. Ou seja, altos valores de carbono da biomassa indicam uma reserva lábil de nutrientes.

A respiração basal do solo foi maior no manejo PRT em relação à floresta. As mudanças ocasionadas no ambiente solo em decorrência das práticas inadequadas de manejo, como aquelas que envolvem o revolvimento do solo, propiciam um aumento da atividade da microbiota responsável pela decomposição da matéria orgânica do solo. Como consequências tem-se um aumento na liberação do CO_2 para a atmosfera e redução no carbono orgânico do solo. A respiração basal do solo foi, relativamente, menor no PDA e na pastagem, quando comparada à floresta.

O qMic fornece indicações sobre a dinâmica da matéria orgânica do solo, refletindo quanto do carbono orgânico está imobilizado na biomassa microbiana. Houve aumento percentual do qMic no solo da pastagem em relação ao solo da floresta, apontando o potencial de reserva de carbono nos tecidos microbianos no solo sob pastagem.

Para os manejos agrícolas, houve redução percentual do qMic, sendo que essa redução foi mais acentuada no solo dos manejos PDA e PDC, indicando menor eficiência dos microrganismos em utilizar o carbono e menor ciclagem de nutrientes. Elevado qMic pode significar que o carbono do solo tende a se acumular, ao contrário de menor quociente que indica perda de carbono orgânico, ao longo do tempo.

Com exceção da pastagem, que apresentou uma redução no qMet relação à floresta, todos os manejos aumentaram percentualmente, principalmente o PRT e o PRA. Menor qMet indica economia de energia e maior eficiência da população microbiana em utilizar o carbono

disponível para biossíntese, o que traduz um ambiente mais estável, representado pela pastagem e pelo PDA.

O qMic mais elevados nas áreas agrícolas, principalmente os encontrados nos manejos com revolvimento do solo (em média 56% maior que a floresta) apontam ambientes sob alguma condição de estresse. Ou uma rápida transformação de resíduos orgânicos em nutrientes que ficarão disponíveis às plantas ou passíveis de serem lixiviados.

O carbono orgânico do solo apresentou redução dos teores em todas as coberturas vegetais em comparação com a floresta, sendo mais evidente na pastagem (Figura 4). Em pastagens bem manejadas e com alta capacidade de produção, existe um intenso aporte de carbono orgânico pela constante decomposição e renovação do sistema radicular abundante e agressivo dessas gramíneas, promovendo incremento do carbono orgânico. A sucessão que apresentou teores mais próximos a floresta foi composta por milho semeado na safra, seguida de milho + braquiária na safrinha. Essa combinação, de maior produção de resíduos de milho, aliada a alta relação C/N, mais o abundante sistema radicular da braquiária implantada na safrinha, provavelmente, foi responsável por maiores teores de carbono orgânico.

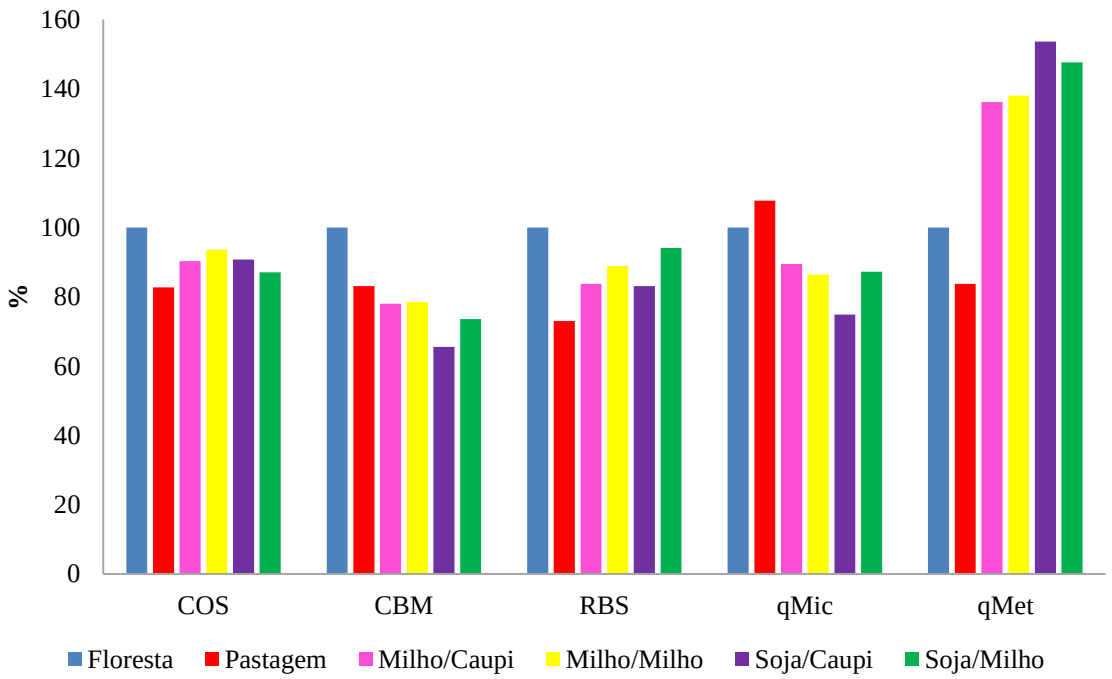


Figura 4 - Média geral da porcentagem dos indicadores de qualidade do solo (COS - carbono orgânico do solo, CBM - carbono da biomassa microbiana, RBS - respiração basal do solo, qMic - quociente microbiano e qMet - quociente metabólico) nas diferentes coberturas vegetais em comparação com a floresta (média das épocas e profundidades). Rolim de Moura/RO

Numa análise percentual, os teores do carbono da biomassa microbiana apresentaram decréscimo em relação aos encontrados na floresta, sendo que na sucessão soja/caupi essa redução ficou mais evidente, ao contrário da pastagem na qual, os teores mais se aproximaram aos da floresta. Esse resultado pode ser devido a menor produção de resíduos das espécies utilizadas na safra e na safrinha, indicando menor quantidade de resíduos e rápida decomposição no solo, acarretando menores teores de carbono da biomassa.

A alta diversidade das plantas encontradas no ambiente de floresta, aliada a não perturbação do solo promovem um ambiente mais equilibrado e com condições mais adequadas ao desenvolvimento microbiano, refletindo em maiores teores de carbono da biomassa. Elevados teores de carbono da biomassa microbiana, significam que uma maior quantidade da matéria orgânica está metabolicamente ativa, aumentando, consequentemente, a taxa de decomposição dos resíduos e proporcionando maior reciclagem de nutrientes.

Houve relativa redução da respiração basal do solo nas diferentes coberturas vegetais, principalmente na pastagem e na sucessão soja/caupi. Em áreas de pastagem há menor liberação de CO_2 para a atmosfera, ou seja menor respiração basal, devido a menor mineralização da matéria orgânica ocasionada pelo não revolvimento do solo.

Em termos percentuais, a pastagem apresentou maior qMic dentre todas as coberturas vegetais comparadas à floresta. Elevado qMic significa que está acumulando carbono no solo e que uma parte desse carbono está imobilizado nas células microbianas. Dentre as sucessões o qMic teve redução quando comparado a floresta e na sucessão soja/caupi essa redução foi mais evidente, significando que a população microbiana está menos ativa.

A pastagem apresentou menor qMic que o encontrado na floresta e, as sucessões maiores valores em relação a floresta. A sucessão soja/caupi foi a que apresentou maiores incrementos do qMet, apontando elevada atividade decompositora mediada pelos microrganismos. Quando o qMet é baixo, significa que os microrganismos do solo estão mais eficientes em incorporar carbono nas suas células. Sob situações de estresse, necessitam consumir mais substrato para sua sobrevivência, aumentando assim o qMet.

6. CONCLUSÕES

O solo sob manejo PDC apresenta maior teor de carbono orgânico do solo, e o solo sob manejo PRT o menor.

O carbono da biomassa microbiana, a respiração basal do solo, o quociente microbiano e o metabólico são maiores no solo sob manejo PRT.

A substituição da floresta por agricultura reduz o carbono orgânico do solo, o carbono da biomassa microbiana e o quociente microbiano e aumenta o quociente metabólico.

A retirada da pastagem e introdução da agricultura aumenta o carbono orgânico do solo, a respiração basal e o quociente metabólico.

Os maiores teores de carbono orgânico foram encontrados no solo sob sucessão milho/milho e os de carbono da biomassa microbiana nas sucessões milho/caupi e milho/milho. A respiração do solo foi maior no solo das sucessões milho/milho e soja/milho e o quociente microbiano em milho/caupi e soja/milho.

O solo na profundidade de 0-10 cm apresenta maior carbono orgânico do solo e, com algumas exceções, maior carbono da biomassa microbiana, respiração basal do solo, quociente microbiano e quociente metabólico.

REFERÊNCIAS

ALCÂNTARA, F. A. P.; CARVALHO, A. M. Ressonância magnética nuclear de ^{13}C em estudos de caracterização estrutural da matéria orgânica do solo. In.: ROSCOE, R., MERCANTE, F. M. E.; SALTON, J. C. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. 304 p.

ALMEIDA, D. de O. **Fauna epiedáfica e atributos microbiológicos de solos sob sistemas de manejo no subtrópico brasileiro.** 2012. 108 f. Tese (Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012. Disponível em http://www.ufrgs.br/agronomia/joomla/index.php /ppgsolo-teses-dissertacoes. Acesso em 25 de maio de 2015.

ALMEIDA, L. S. et al. Indicadores de qualidade do solo em cultivos irrigados de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 9, p. 1539 - 1547, 2016. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2016000900053. Acesso em: set. 2017.

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711 - 728, 2013. DOI:10.1127/0941-2948/2013/0507.

ALVAREZ, C. et al. Carbon and nitrogen sequestration in soils under different management in the semi-arid Pampa (Argentina). **Soil and Tillage Research**, v. 142, p. 25 - 31, 2014. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.still.2014.04.005 Acesso em 25 de maio de 2015.

ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. Rations of microbial biomass carbon to total organic in arable soils. **Soil Biology Biochemistry**, v. 21, n. 4, p. 474 - 479, 1989. Disponível em: https://doi.org/10.1016/0038-0717(89)90117-X. Acesso em 25 de abril de 2017.

ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient of CO_2 (qCO_2) as a specific activity paramenter to assess the effects of environmental condition, such as pH, on the microbial of forest soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 25, n. 3, p. 393 - 395, 1993. Disponível em: https://doi.org/10.1016/0038-0717(93)90140-7. Acesso em: 25 jun. 2017.

ANDREOLA, F.; FERNANDES, S. A. P. A Microbiota do solo na agricultura orgânica e no manejo das culturas. In.: SILVEIRA, A. P. D. E FREITAS, S. S. **Microbiota do solo e qualidade ambiental**. Campinas: Instituto Agronômico, 2007.312 p.

ARAGÃO, D. V. et al. Avaliação de indicadores de qualidade do solo sob alternativas de recuperação do solo no Nordeste Paraense. **Acta Amazônica** [on line]**,** v. 42, n. 1, p. 11 - 18, 2012. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0044-59672012000100002&lng=pt&nrm=iso. Acesso em: 13 nov. 2013.

AUTRET, B. et al. Alternative arable cropping systems: A key to increase soil organic carbon storage? Results from a 16 year field experimente. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 232, p. 150 - 164, 2016. Disponível em: Https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.07.008 Acesso em 25 de junho de 2017.

AZIZ, I.; MAHMOOD, T.; ISLAM, K. R. Effect of long term no-till and conventional tillage practices on soil quality. **Soil and Tillage Research**, v. 131, n. 1, p. 28 - 35, 2013. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2013.03.002. Acesso em 21 de julho de 2017.

BABUJIA, L. C. et al. Microbial biomass and activity at various soil depths in a Brazilian oxisol after two decades of no-tillage and conventional tillage. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 42, n. 12, p. 2174 - 2181, 2010.

BALOTA, E. B. et al. Long-term tillage and crop rotation effects on microbial biomass and C and N mineralization in a Brazilian Oxisol. **Soil and Tillage Research**, v. 77, p. 137 - 145, 2004.

BALOTA, E. B.; MACHINESKI, O.; MATOS, M.A. Soil microbial biomass under different tillage and levels of applied pig slurry. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,** v. 16, n. 5, p. 487 - 495, 2012. Disponível em http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662012000500004. Acesso em: set. 2017.

BALOTA, E.B. et al. Long-term land use influences soil microbial biomass P and S, phosphatase and arylsulfatase activities, and s mineralization in a brazilian Oxisol. **Land Degradation & Development**. v. 25, issue 4, p. 397 - 406, 2014. DOI: 10.1002 / ldr.2242.

BATLLE-BAYER, L.; BATJES, N. H.; BINDRABAN, P. S. **Changes in organic carbon stocks upon land use conversion in the Brazilian Cerrado: a review.** Agriculture, Ecosystems & Environment, v. 137, p. 47 - 58, 2010. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.02.003. Acesso em 06 de janeiro de 2017.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Ed). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Genesis, 1999. Cap. 2, p. 9 - 26.

BAYER, C.; MIELNICZUK. J.; MARTIN-NETO, L. Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO_2. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 599 - 607, 2000.

BAYER, C. et al. Carbon stocks in organic matter fractions as affected by land use and soil management, with emphasis on no-tillage effect. **Ciência Rural**, v. 32, p. 401 - 406, 2002.

BELDINI, T.P. et al. Physical, chemical, and biological properties of soil under soybean cultivation and at an adjacent rainforest in Amazonia. **Revista Ambiente e Água**, v. 10, n. 4, p. 707 - 719, 2015. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1980-993X2015000400707&lng=en&nrm=iso&tlng=en. Acesso em: 18 fev. 2016.

BORDONAL, R. O. et al. Changes in quantity and quality of soil carbon due to the land-use conversion to sugarcane (*Saccharum officinarum*) plantation in southern Brazil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v., 240, p. 54 - 65, 2017.

BORGES, C. S. et al . Agregação do solo, carbono orgânico e emissão de CO_2 em áreas sob diferentes usos no Cerrado, região do Triângulo Mineiro. **Revista Ambiente & Água**, v. 10, n. 3, p. 660 - 675, 2015 . Disponível em: http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1573. Accesso em: set. 2017.

BRACKIN, R. et al. Microbial function in adjacent subtropical forest and agricultural soil. **Soil Biology Biochemistry**, v. 57, p. 68 - 77, 2013. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.07.015. Acesso: 13 jul. 2017.

BRÖRING, J. M. **Dinâmica do carbono em sistemas de uso do solo no Oeste e Planalto de Santa Catarina**. 2013. 98 f. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Lages, 2013.

CAMELO, G. N. et al. Efeito do sistema de plantio e doses do nicosulfuron sobre a atividade microbiana do solo. **Planta Daninha** [on line], v. 29, n. 4, p. 829 - 835, 2011. Disponível em: http://www.scielo.br/pdf/pd/v29n4/v29n4a13.pdf Acesso em 10 de dezembro de 2014.

CAMPOS, B. H. et al. Carbon stock and its compartments in a subtropical oxisol under long-term tillage and crop rotation systems. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 35, p. 805 - 817, 2011.

CAMPOS, L. P. et al. Estoques e frações de carbono orgânico em Latossolo Amarelo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** [on line], v. 48, n. 3, p. 304 - 312, 2013. Disponível em: http://www.scielo.br/pdf/pab/v48n3/09.pdf. Acesso em: 23 jan. 2014.

CARDOSO, E. L. et al. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em pastagem cultivada e nativa no Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 6, p. 631 - 637, jun. 2009.

CARNEIRO, M. A. C. et al. Produção de fitomassa de diferentes espécies de cobertura e suas alterações na atividade microbiana de solo de cerrado. **Bragantia**, v. 67, n. 2, p. 455 - 462, 2008.

CARVALHO, J. L. N. et al. Changes of chemical properties in an oxisol after clearing of native Cerrado vegetation for agricultural use in Vilhena, Rondonia State, Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 96, p. 95 - 102, 2007.

CARVALHO, J. L. N. et al. Crop-pasture rotation: a strategy to reduce soil greenhouse gas emissions in the Brazilian Cerrado. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 183, p. 167 - 175, 2014. Disponivel em: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880913004088. Acesso em: 16 jun. 2017.

CARVALHO, J. L. N. et al. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 277 - 289, 2010.

CENCIANI, K. **Diversidade bacteriana em solos da Amazônia: variabilidade dos gêneros associados ao processo de nitrificação**. 2007. 103 f.Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP, Piracicaba, 2007.

CENCIANI, K. et al. Bacteria diversity and microbial biomass in forest, pasture and fallow soils in the Southwestern Amazon basin. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 907-916, 2009.

CIDIN, A. C. M. **Estoque de Carbono em solos brasileiros e potencial de contribuição para mitigação de emissões de gases de efeito estufa.** 2016. 75p. Dissertação (Mestrado em Agricultura e Meio Ambiente) - UFSCar, São Carlos, 2016.

CORBEELS, M. et al. Evidence of limited carbon sequestration in soils under no-tillage systems in the Cerrado of Brazil. **Scientific Reports**, Article number: 21450 (2016). Disponível em: http://www.nature.com/articles/srep21450. Acesso em: 13 jan. 2017.

CORDEIRO, M. A. S.; CORÁ, J.E.; NAHAS E. Atributos bioquímicos e químicos do solo rizosférico e não rizosférico de culturas em rotação no sistema de semeadura direta **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1794-1803, 2012.

COSTA, F. S. et al. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 3, p. 323-332, 2008. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000100030. Acesso em: 13 jan. 2014..

COSTA, N. R. et al. Atributos do solo e acúmulo de carbono na integração lavoura-pecuária em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n.3, p. 852-863, 2015. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1590/01000683rbcs20140269. Acesso em: 20 jan. 2016.

CUNHA, E. Q. et al. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. II - Atributos biológicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** [on line], v. 35, n. 2, p. 603 - 611, 2011. http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v35n2/ v35n2a29.pdf Acesso em 13 de novembro de 2014.

DADALTO, J. P. et al. Sistema de preparo do solo e sua influência na atividade microbiana. Engenharia Agrícola, v. 35, n. 3, p. 506 - 513, 2015. Doi:http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n3p506-513/2015. Acesso em 25 de novembro de 2016

D'ANDRÉA, A. F.; SILVA, L. N.; SILVA, C. A. Emissões de CO_2 do solo: Métodos de avaliação e influência do uso da terra. In.: ROSCOE, R., MERCANTE, F. M. E.; SALTON, J. C. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares.** Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. 304 p.

DAVIDSON, E. A. et al. The Amazon basin in transition. **Nature**, v. 481, p. 321-328, 2012. Disponível em: http://www.nature.com/nature/journal/v481/n7381/full/nature10717.html Acesso em 25 de junho de 2016.

DEBIASI, H. et al. **Sistemas de preparo do solo: trinta anos de pesquisas na Embrapa Soja.** Londrina: Embrapa Soja, 2013. 72 p.

DELBEM; F. C. et al. Fontes e doses de adubação nitrogenada na atividade microbiana e fertilidade do solo cultivado com *Brachiaria brizantha*. **Acta Scientiarum Agronomy** [on line], v. 33, n. 2, p. 361 - 367, 2011. http://www.scielo.br/pdf/asagr/v33n2/24.pdf Acesso em: 03 jan. 2015.

DE-POLLI, H.; GUERRA, J. G. M. Determinação do carbono da biomassa microbiana do solo: método da fumigação-extração. Seropédica: Embrapa-CNPAB, **Documentos**, n. 37, 1997. 10 p. (Embrapa- CNPAB). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa. br/handle/doc/624236. Acesso em 19 de janeiro de 2014.

DE-POLLI, H.; GUERRA, J. G. M. C, N e P na biomassa microbiana do solo. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo:** ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Genesis, p. 389 – 411, 1999.

DE-POLLI, H.; GUERRA, J. G. M. Carbono, nitrogênio e fósforo da biomassa microbiana do solo. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo**: **ecossistemas tropicais e subtropicais.** 2.ed., Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 263 - 276.

DIAS-FILHO, M. B. **Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação**. Belém, PA, Embrapa Amazônia Oriental, 2003. 152 p.

DIAS-FILHO, M. B. **Degradação de pastagens: o que é e como evitar**. Brasília, DF, Embrapa, 2017. 19 p. Disponível em: http://www.embrapa.br/amazonia-oriental/publicacoes. Acesso em: 21 ago. 2017.

DIEKOW, J. et al. Carbon and nitrogen stocks in physical fractions of a subtropical Acrisol as influenced by long-term no-till cropping systems and N fertilization. **Plant and Soil**, v. 268, n. 1. p. 319 - 328, 2005.

DINIZ, L. T. et al. Alterações microbianas e químicas de um Gleissolo sob macaubeiras nativas em função da variação sazonal e espacial. **Biosciencience Journal**., v. 30, n. 3, p. 750 - 762, 2014.

DURIGAN, M. R. **Mudança no estoque de carbono e nitrogênio do solo em função da conversão do uso da terra no Pará**. 2013. 101 f. Dissertação. (Mestre em Agronomia, Área de Concentração Solos e Nutrição de Plantas) Escola Superior de Agronomia "Luiz de Queiroz" - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

DUVAL, B. D. et al. Predicting greenhouse gas emissions and soil carbon from changing pasture to an energy crop. **PLoS ONE**, v. 8, e72019, 2013. Disponível em: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23991028. Acesso em 14 de maio de 2017.

EVANGELISTA, C R et al. Atributos microbiológicos do solo na cultura da cana-de-açúcar sob manejo orgânico e convencional. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 4, p. 1549 - 1562, 2013. DOI: 10.5433/1679-0359.2013v34n4p1549

FAO, 2010. Global Forest Resources Assessment 2010: Progress towards sustainable Progress towards sustainable forest management. **Food and Agriculture Organization** (United Nations), Rome, Italy. Available online:www.fao.org

FERNANDES, L.C.; GUIMARÃES, S.C.P. (orgs.). **Atlas geoambietal de Rondônia**. SEDAM/GOVERNO DE RONDÔNIA, Porto Velho, 2002, 150 p.

FERREIRA, E.A.B. et al. Dinâmica do carbono da biomassa microbiana em cinco épocas do ano em diferentes sistemas de manejo do solo no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** [on line], Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1625 - 1635, 2007. http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v31 n6/38.pdf Acesso em: 10 dez. 2014.

FERREIRA, G. M. **Atividade microbiana e agregação de um Latossolo Vermelho Distroférrico em Campinas, SP, sob usos e manejos distintos**. 2008. 70 p. Dissertação (Curso de Pós-graduação em Agricultura Tropical) - Instituto Agronômico Campinas – IAC, Campinas, 2008.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039 - 1042, 2011.

FERREIRA JUNIOR, M.J.A. et al. Assessing the impact of different tillage systems and land uses on CO2-C emissions in Eastern Amazonia. **African Journal of Agricultural Research**, v. 12, n. 30, 2427 - 2441, 2017. Disponível em: DOI: 10.5897/AJAR2017.12218. Acesso em 30 de agosto de 2017.

FIDELIS, R. R. et al. Indicadores biológicos de qualidade do solo em consórcio para *Jatropha curcas*. **Pesquisa Aplicada e Agrotecnologia** , v. 9, n. 3, p. 87 - 95, fev. 2017. Disponível em: < http://200.201.10.18/index.php/repaa/article/view/4410 >. Data de acesso: 15 sep. 2017.

FORTES NETO, P., FERNANDES, S. A. P., JAHNEL, M. C. Microbiota do solo como indicadora da poluição do solo e do ambiente. In.: SILVEIRA, A. P. D. E FREITAS, S. S. **Microbiota do solo e qualidade ambiental**. Campinas: Instituto Agronômico, 2007, 312 p.

FRANCHINI, J. C. et al. Microbiological parameters as indicators of soil quality under various tillage and crop-rotation systems in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 92, p. 18 - 29, 2007.

FRAZÃO, L. A. et al. Inorganic nitrogen, microbial biomass and microbial activity of a sandy Brazilian Cerrado, soil under different land uses. **Agriculture, Ecosystems and Environment,** v. 135, p. 161 - 167, 2010.

GAMA-RODRIGUES, E. F. et al. Carbono, nitrogênio e atividade de biomassa microbiana no solo sob plantações de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 6, p. 893 - 902, 2005. Dispinivel em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid= S0100-06832005000600007. Acesso em: 12 jun, 2017.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G.A. et al. (eds.) **Fundamentos da matéria orgânica do solo ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2.ed. Porto Alegre, Metrópole, 2008. p. 159 - 170.

GOMIDE, P. H. O.; SILVA, M. L. N.; SOARES, C. R. F. S. Atributos físicos, químicos e biológicos do solo em ambientes de voçorocas no município de Lavras - MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 2, p. 567 - 577, 2011. Disponível em:http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000200026**.** Acesso em: 19 mar. 2015.

GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A. Crop residues, light organic matter, carbon and nitrogen storage and remaining phosphorus under different management systems in the cerrado region of Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 3, 2012. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832012000300021.

HAVLICEK, E. Soil biodiversity and bioindication: From complex thinking to simple acting. **European Journal of Soil Biology**, v. 49, p. 80 - 84, 2012. Disponível em: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1164556312000106. Acesso em: 27 mai.2015.

HENRIQUE, N.H. **Qualidade de solos em áreas alteradas pelos usos na região central do Estado de Rondônia.** 2016. 60 f. Dissertação. (Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais), Universidade Federal de Rondônia, Rolim de Moura, 2016.

HICKMANN, C.; COSTA, L. M. Estoque de carbono no solo e agregados em Argissolo sob diferentes manejos de longa duração. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 10, p.1055 - 1061, 2012. Disponivel em: http://www.agriambi.com.br. Acesso em 27 de maio de 2015.

HOBBS, P. R., SAYRE, K., GUPTA, R. The role of conservation agriculture in sustainable agriculture, v. 363, n. 1491, 2008. **Philosophical Transactions**. Disponível em: http://rstb.royalsocietypublishing.org/content/363/1491/543. Acesso em: 19 mai. 2016.

HUNGRIA, M. et al. Soil microbial activity and crop sustainability in a long-term experiment with three soil-tillage and two crop-rotation systems. **Applied Soil Ecology**, v. 126, p. 203 - 218, 2009. Disponível em: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198712002176. Acesso em: 27 mai. 2015.

INAGAKI T. M. et al. Why does carbon increase in highly weathered soil under no-till upon lime and gypsum use? **Science of The Total Environment**, v. 599 - 600, n. 1, p. 523 - 532. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.04.234 Acesso em: 23 ago. 2017.

JAKELAITIS, A. et al. Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 38, p. 118 - 127, 2008.

JENKINSON, D. S.; POWLSON, D. S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. V - A method for measuring soil biomass. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 8, n.3, p. 209 - 213, 1976.

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.

LAL, R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. **Science**, v. 304, 2004. Disponível em: < http:// http://science.sciencemag.org/content/304/5677/1623.full Acesso em: 6 de fev. 2015.

LAMMEL, D. R. et al. Specific microbial gene abundances and soil parameters contribute to C, N, and greenhouse gas process rates after land use change in Southern Amazonian Soils. **Frontiers in Microbiology**, v. 6, p. 1057, 2015. http://dx.doi.org/10.3389/fmicb.2015.01057

LEMOS, E. C. M., et al. The responses of soil, litter and root carbon stocks to the conversion of forest regrowth to crop and tree production systems used by smallholder farmers in Eastern Amazonia. **Soil Use and Management**, v. 32, issue 4, p. 504 - 514, 2016. DOI: 10.1111 / sum.12308

LIMA, D. dos S. de. **Indicadores de qualidade do solo sob sistema de produção agrícola convencional em conversão para agroecológico**. 2007. 63 f. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2007. Disponível em: http://www.bibliotecadigital.uel.br/document/?code=vtls000129315. Acesso em 19 de janeiro de 2015.

LISBOA, B. B. et al. Indicadores microbianos de qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** [on line], v. 36, n. 1, p. 45 - 55, 2012. http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v36n1/v36n1a04.pdf. Acesso em 08 de janeiro de 2015.

LOURENTE, E. R. P. et al. Atributos microbiológicos, químicos e físicos de solo sob diferentes sistemas de manejo e condições de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 1, p. 20-28, 2011. Disponível em: http://www.scielo.br/pdf/pat/v41n1/a03v41n1.pdf. Acesso em 11 de maio de 2016.

LUIZÃO, R. C. C., COSTA, E. S.; LUIZÃO, F. J. Mudanças na biomassa microbiana e nas transformações de nitrogênio em uma sequência de idades de pastagens após derruba e queima da floresta na Amazônia Central. **Acta Amazonica**, v. 29, p. 43 - 56, 1999.

LUO, Y.; ZOU, X. **Soil Respiration and the Environment**. 2006. ISBN: 978-0-12-088782-8. Disponivel em: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780120887828500000. Acesso em 19 de fevereiro de 2017.

LUO, Z., WANG, E.; ROSSEL, R. A. V. Can the sequestered carbon in agricultural soil be maintained with changes in management, temperature and rainfall? A sensitivity assessment. **Geoderma**, v. 268, p. 22 - 28, 2016. doi:10.1016/j.geoderma.2016.01.015

MAIA, S. M. F. et al. Effect of grassland management on soil carbon sequestration in Rondônia and Mato Grosso states, Brazil. **Geoderma**, v. 149, n. 1 - 2, p. 84 - 91, 2009. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.11.023. Acesso em: 19 dez. 2015.

MAIA, S. M. F. et al. Changes in soil organic carbon storage under different agricultural management systems in the Southwest Amazon Region of Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 106, issue 2, p.117–184, 2010. Disponível em: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198709002293. Acesso em: 19 dez. 2015.

MAIA, S. M. F. et al. Contrasting approaches for estimating soil carbon changes in Amazon and Cerrado biomes. **Soil & Tillage Research**, v. 133, n. 2, p. 75 - 84, 2013. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2013.06.002. Acesso em 19 de maio de 2015.

MALUCHE-BARETTA, C. R. D. et al. Atributos microbianos e químicos do solo em sistemas de produção convencional e orgânico de maçãs no Estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 655 - 665, 2007.

MARINHO. M. A. et al. Depth distribution of soil organic carbon in an Oxisol under different land uses: Stratification indices and multifractal analysis. **Geoderma**, v. 287, p. 126 - 134, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.09.021

MARQUES, J. D. O. et al. Distribution of organic carbon in different soil fractions in ecosystems of Central Amazonia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 1, 2015. http://dx.doi.org/10.1590/01000683rbcs20150142

MATIAS, M. C. B. S. et al. Biomassa microbiana e estoques de C e N do solo em diferentes sistemas de manejo, no Cerrado do Estado do Piauí. **Acta Scientiarum Agronomy,** v. 31, n. 3, p. 517 - 521, 2009. DOI: 10.4025/actasciagron. v31i3.687

MATOSO, S. C. G. et al. Frações de carbono e nitrogênio de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico sob diferentes usos na Amazônia brasileira. **Acta Amazonica** (Impresso), v. 42, p. 231 - 240, 2012.

MATSUOKA, M.; MENDES, I. C.; LOUREIRO, M. F. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste (MT). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 425 - 433, 2003.

MAZZETTO, A. M. **Atividade e diversidade metabólica da biomassa microbiana do solo alterada pelo uso da terra.** 2009. 104 f. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Microbiologia Agrícola) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

MAZZETTO, A. M. et al. Comparing how land use change impacts soil microbial catabolic respiration in Southwestern Amazon. **Brazilian Journal Microbioly**, v. 47, n. 1, p.63 - 72, 2016. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1016/j.bjm.2015.11.025. Acesso em: 13 abr. 2016.

MELLONI, R. Quantificação microbiana da qualidade do solo. In.: SILVEIRA, A. P. D.; FREITAS, S. S. **Microbiota do solo e qualidade ambiental**. Campinas: Instituto Agronômico, 2007, 312 p.

MELO, V. S. et al. Consequences of forest conversion to pasture and fallow on soil microbial biomass and activity in the eastern Amazon. **Soil Use & Management**. v. 28, n. 4, p. 530 - 535, 2012. Disponível em: http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/sum.12003/full. Acesso em 13 de novembro de 2014.

MENDES, I. C.; SOUSA, D. M. F.; REIS JÚNIOR, F. B. Bioindicadores de qualidade de solo: dos laboratórios de pesquisa para o campo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 32, n. 1/2, p. 185 - 203, 2015.

MENDONÇA. E. S.; LEITE, L. F. C. Modelagem matemática e simulação da dinâmica da matéria orgânica do solo. In.: ROSCOE, R., MERCANTE, F.M E SALTON, J.C. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares**. Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. 304 p.

MERCANTE, F. M. et al. **Parâmetros microbiológicos como indicadores da qualidade do solo sob sistemas integrados de produção agropecuária**. Embrapa Agropecuária Oeste, 2004. 27 p.

MERCANTE, F. M. et al. Biomassa microbiana em um Argissolo Vermelho em diferentes coberturas vegetais, em área cultivada com mandioca. **Acta Scientiarum Agronomy** [on line]. v. 30, n.4, p.479 - 485, 2008. Disponível em: http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ ActaSciAgron/issue/view/293/showToc. Acesso em: 18 ago. 2016.

MIKOS, A. **Avaliação da qualidade do solo sob diferentes usos no território da Zona da Mata - RO.** 2017. 63 f. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais), Universidade Federal de Rondônia, Rolim de Moura, 2017.

MILNE, E. et al. Soil carbon, multiple benefits. **Environmental Development**, v. 13, p. 33-38, 2015. Disponível em: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211464514 000864. Acesso em: 29 jan. 2016.

MIRANDA, E. et al. Long-term changes in soil carbon stocks in the brazilian cerrado under commercial soybean. **Land Degradation & Development**, v. 27, In. 6, p. 1586 - 1594, 2016.

MOITINHO, M. R. et al. Efeito do preparo do solo e resíduo da colheita de cana-de- açúcar sobre a emissão de CO_2. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** [on line], v. 37, n. 6, p. 1720-1728, 2013. http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v37n6/28.pdf Acesso em 09 de janeiro de 2014.

MONTEIRO, M. T.; GAMA-RODRIGUES, E. F. Carbon, nitrogen and microbial biomass activity in different litter structures of a natural forest. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** [on line], v. 28, n. 5, p. 819 - 826, 2004. http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v28n5/22817.pdf Acesso em: 28 nov. 2013.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. 2.ed. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2006. 729p.

NANNIPIERI, P. et al. Diversidade microbiana e funções do solo. **European Journal of Soil Science**, v. 68, n. 6, p. 2 - 5. Doi: 10.1111 / ejss.2_12398

NUNES, R. S. et al.Sistemas de manejo e estoques de carbono e nitrogênio em Latossolo do cerrado com sucessão soja-milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1407 - 1419, 2011.

OLIVEIRA, W. R. D. et al. Dynamics of soil microbiological attributes under integrated production systems, continuous pasture, and native cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** v. 51, n. 9, p. 1501 - 1510, 2016 . Disponível em: http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2016000900049. Acesso em: 10 jul. 2017.

PASSOS, R. R. et al. Substâncias húmicas, atividade microbiana e carbono orgânico lábil em agregados de um Latossolo Vermelho distrófico sob duas coberturas vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p.1119 - 1129, 2007.

PAUSTIAN, K. et al. Climate-smart soils. **Nature**, v. 32, p. 49 - 57, 2016. Doi: doi:10.1038/nature17174.

PEREIRA, M. G. et al. Carbono, matéria orgânica leve e fósforo remanescente em diferentes sistemas de manejo do solo**. Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, p.508 - 514, 2010.

PORTUGAL, A. F. et al. Determinação de estoques totais de carbono e nitrogênio e suas frações em sistemas agrícolas implantados em Argissolo Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 5. p.2091 - 2100, 2008.

POWLSON, D. S. et al. Does conservation agriculture deliver climate change mitigation through soil carbon sequestration in tropical agro-ecosystems? **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 220, p.164 - 174, 2016.

PRAGANA, R. P. et al. Atributos biológicos e dinâmica da matéria orgânica em Latossolos Amarelos na região do Cerrado Piauiense sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 851 - 858, 2012.

PUTZ F. E. et al. Sustaining conservation values in selectively logged tropical forests: the attained and the attainable. **Conservation Letters**, v. 5, n. 4, p. 296 - 303, 2012.

RAIESI, F; KABIRI, V. Identification of soil quality indicators for assessing the effect of different tillage practices through a soil quality index in a semi-arid environment. **Ecological Indicators**,v. 71, p.198 - 207, 2016. Disponivel em: https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.06.061 Acesso em 25 de maio de 2017.

RAMOS, F. T. et al. Atributos físicos e microbiológicos de um Latossolo Vermelho-amarelo distrófico típico sob cerrado nativo e monocultivo de soja. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 6, n. 2, p. 79 - 91, 2011.

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** [on line], v. 31, n. 6, p. 1609 - 1623, 2007. http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v31n6/37.pdf Acesso em 28 de novembro de 2013.

RANGEL-VASCONCELOS, L. G. T. et al. Efeito da disponibilidade de água sobre a biomassa microbiana do solo em floresta secundária na Amazônia Oriental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 2, 2015. http://dx.doi.org/10.1590/01000683rbcs20140135

RAPHAEL, R.P.A. et al. Soil organic matter in crop rotations under no-till. **Soil & Tillage Research**, v. 155, p. 45-53, 2016. Disponovel em: https://doi.org/10.1016/j.still.2015.07.020 Acesso em: 29 mai. 2017.

RESENDE, T.M. et al. Atributos físicos e carbono orgânico em solo sob cerrado convertido para pastagem e sistema misto. **Sociedade & Natureza**, v. 27, n. 3, p. 501 - 514, 2015. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/1982-451320150310.

RODRIGUES, C. P. et al. NDVI e fluxo de CO_2 em lavoura de soja no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia** [on line], v. 28, n. 1, p. 95 - 104, 2013. http://www.scielo.br/pdf/rbmet/v28n1/11.pdf Acesso em: 23 nov. 2014.

RODRIGUES, M. J. M. et al. Espectroscopia no infravermelho próximo para a quantificação de carbono em solos da bacia do Acre. **Biota Amazonia**, v. 6, n. 1, p. 119 - 124, 2016. Disponível em http://periodicos.unifap.br/index.php/biota Acesso em 23 de abril de 2016.

RONDÔNIA. Secretaria do Estado do Desenvolvimento Ambiental (SEDAM). **Boletim climatológico de Rondônia** - 2010. v. 12. Porto Velho: COGEO: SEDAM, 2012. Disponível em: http://www.sedam.ro.gov.br/images/boletim2010.pdf. Acesso em: 12 dez. 2014.

ROSA, M.E.C. et al. Formas de carbono em Latossolo Vermelho Eutroférrico sob plantio direto no sistema biogeográfico do cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 911 - 923, 2003.

ROSA, M. G. et al. Macrofauna edáfica e atributos físicos e químicos em sistemas de uso do solo no Planalto Catarinense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 6, p. 1544 - 1553, 2015. Disponível em http://dx.doi.org/10.1590/01000683rbcs20150033. Acesso em: 12 mar. 2016.

ROSA, M. E. C. et al. Formas de carbono em Latossolo Vermelho Eutroférrico sob plantio direto no sistema biogeográfico do cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 911 - 923, 2003.

ROSCOE, R. BODDEY, R. M.; SALTON, J. C. Sistemas de manejo e matéria ogânica do solo. In.: ROSCOE, R., MERCANTE, F. M. E.; SALTON, J. C. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006, 304 p.

ROSSET, J. S. et al. Frações químicas e oxidáveis da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo, em Latossolo Vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p.1529 - 1538, 2016. DOI: 10.1590/S0100-204X2016000900052.

SÁ, J. C. M. et al. Organic matter dynamics and carbon sequestration rates for a tillage chronosequence in a Brazilian oxisol. **Soil Science Society of American Journal**, v. 65, n. 5, p. 1486 - 1499, 2001.

SÁ, J. C. M. et al. Carbon depletion by plowing and its restoration by no-till cropping systems in Oxisols of subtropical and tropical agro-ecoregions in Brazill. **Land Degradation & Development**, v. 26, p. 531 - 543, 2015.

Sá, J. C. M. Soil-specific inventories of landscape carbon and nitrogen stocks under no-till and native vegetation to estimate carbon offset in a subtropical ecosystem. **Soil Science Society of America Journal**, v. 77, p. 2094 - 2110, 2013. Disponivel em: ftp://ftp.fao.org/ag/agp/ca/CA_CoP_Dec13/Sa_Santos_Lal_et_al_SSSAJ_2013.pdf Acesso em: 22 jun. 2017.

SALES, R.P. et al. Organic matter fractions of an irrigated oxisol under no-till and conventional tillage in the brazilian semi-arid region. **Revista Caatinga**[online], v.30, n. 2, p.303 - 312, 2017. ISSN 0100-316X.

SANTOS, H. G. dos et al. **Sistema brasileiro de classifcação de solos**. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2013, 353 p.
SANTOS, F. L. et al. Atributos bioquímicos do solo sob diferentes sistemas de produção no sudoeste goiano. **Global Science and Technology**, v. 8, n. 2, p.74 - 86, 2015.

SCHLINDWEIN, J. A. et al. Solos de Rondônia: Usos e Perspectivas. **Revista Brasileira de Ciências da Amazônia**, v. 1, n.1, p. 213-231, 2012.

SHI, Y. et al. Seasonal variation of microbial biomass, activity, and community structure in soil under different tillage and phosphorus management practices**. Biology and Fertility of Soils**, v. 49, Issue 7, p. 803-818, 2013. Disponível em: http://link.springer.com/article/10.1007/s00374-013-0773-y. Acesso em: 13 mai.2016.

SILVA, E. E.; AZEVEDO, P. H. S.; DE-POLLI, H. Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabolic do solo (qCO_2). **Comunicado Técnico**, n. 99, Embrapa Solos, 2007, 4 p. a.

SILVA, E. E.; AZEVEDO, P. H. S.; DE-POLLI, H. Determinação do carbono da biomassa do solo (BMS-C). **Comunicado Técnico**, n. 98, Embrapa Solos, 2007, 6 p. b.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, G. N. et al. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.275 - 374.

SILVA, I. F.; ARAUJO, N. S. E; KUSDRA, J. F. Biological activity of soils under systems of organic farming, agroforestry and pasture in the Amazon. **Revista Ciência Agronômica** [online], v.45, n.3, p.427-432, 2014. http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902014000300001.

SILVA, R. R. et al. Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica Campos das Vertentes-MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p.1585 - 1592, 2010.

SILVA-OLAYA, Adriana Marcela. **Soil organic carbon dynamics in sugarcane crop in south-central Brazil.** 2014. 100 f. Tese - Escola Superior de Agronomia "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014. Disponível em: http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-12082014-144101/pt-br.php Acesso em: 13 mai.2015.

SILVEIRA, A. de O. **Avaliação de metodologias para o monitoramento da Qualidade do solo.** 2011. 101 f. Tese (Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. Disponível em http://www.ufrgs.br/agronomia/joomla/index.php/ppgsolo-teses-dissertacoes Acesso em 25 de outubro de 2014.

SINGH, M. K.; GHOSHAL, N. Variation in soil microbial biomass in the dry tropics: impact of land-use change. **Soil Research**, v. 52, p. 299 - 306, 2014. Disponível em: https://doi.org/10.1071/SR13265. Acesso em 19 de julho de 2017.

SIQUEIRA NETO, M. et al. Carbono total e atributos químicos com diferentes usos do solo no Cerrado. **Acta Science Agronomy**, v. 31, p. 709 - 717, 2009.
SIQUEIRA NETO, M. et al. Greenhouse gas emission caused by different land-use in Brazilian Savannah. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 63 - 76, 2011.

SOUZA, E.D. et al**.** Frações do carbono orgânico, biomassa e atividade microbiana em um Latossolo Vermelho sob cerrado submetido a diferentes sistemas de manejos e usos do solo Acta Science Agronomy, v. 28, n. 3, p. 323 - 329, 2006.

SOUZA, E. D. Biomassa microbiana do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p.79 - 88, 2010.

SOUZA, E. D. et al. Soil quality indicators in a Rhodic Paleudult under long term tillage systems. **Soil & Tillage Research**, v.139, p. 28-36, 2014. Disponível em: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198714000130 Acesso em 13 de novembro de 2015.

SOUZA, E. D. et al. 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. DOI: 10.1590/S0100-204X2016000900019

STIEVEN, A.C. et al. Impactos da floresta integrada-pecuária em indicadores microbiológicos do solo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 9, p.53 - 58, 2014. DOI: 10.5039 / agraria.v9i1a3525

TIVET, F. et al. Soil organic carbon fraction losses upon continuous plow-based tillage and its restoration by diverse biomass-C inputs under no-till in sub-tropical and tropical regions of Brazil. **Geoderma**, v. 209 - 210, p. 214 - 225, 2013. http://dx.doi.org.ez8.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.geoderma.2013.06.008

TOMASI, C. A. **Atributos químicos e matéria orgânica em Latossolo Vermelho de altitude sob usos e Manejos distintos.** 2011. 65 f. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. Disponível em: http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/30191 Acesso em 25 de outubro de 2014.

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores de qualidade dos solos. In: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: UFV, 2002, v. 2. p. 195 - 276.

VANCE, E. D. et al. An extraction method for measuring soil microbial biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 19, n. 6, p.703 - 707, 1987.

VARGAS, L. K.; SCHOLLES, D. Biomassa microbiana e produção de C-CO_2 e N mineral de um Podzólico Vermelho-Escuro submetido a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p.35 - 42, 2000.

VENZKE FILHO, S. P. et al. Biomassa microbiana do solo em sistema de plantio direto na região de Campos Gerais - Tibagi, PR. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.599 - 610, 2008.

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, n. 1, p. 213 - 223, 2011. Disponível em: http://www.scielo./pdf/rbcs/v35n1/a20v35n1.pdf>. Acesso em abril de 2014.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão geral da qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.743 - 755, 2009.

VICENTE, G. C. M. P.; ARAUJO, F. F. Uso de indicadores microbiológicos e de fertilidade do solo em áreas de pastagens. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 1, p. 137 - 146, 2013. DOI: 10.5433/1679-0359.2013v34n1p137

XAVIER, F. A. S. et al. Biomassa microbiana e matéria orgânica leve em solos sob sistemas agrícolas orgânicos e convencionais na Chapada da Ibiapaba - CE. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p.247 - 258, 2006. DOI: 10.1590 / S0100-06832006000200006.

ZINN, Y.L; LAL, R.; RESCK, D. V. S. Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brazil. **Soil & Tillage Research**,v.84, n. 1, p. 25 - 40, 2005. Disponivel em: https://doi.org/10.1016/j.still.2004.08.007 Acesso em 25 de junho de 2016.

ZILLI, J. E. et al. Diversidade microbiana como indicador de qualidade do solo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 20, n. 3, p. 391 - 411, 2003.