

m-ob. 48922
m.c. 50481



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL
DOUTORADO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS**



PATRÍCIA RIBEIRO MAIA

**ATRIBUTOS E ESTOQUE DE CARBONO DO SOLO EM SISTEMAS DE MANEJO DO
SOLO NO MUNICÍPIO DE PARAGOMINAS-PA-BRASIL**

Biblioteca



27460019

Tese apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do programa de pós-graduação em Ciências Agrárias, área de concentração em agroecossistemas, para obtenção do título de "Doutor em Ciências Agrárias".

Orientador: Prof. Dr. Antonio Rodrigues Fernandes

Tese
631.76098115
06217
Cx. 01

**BELÉM
2014**

Maia, Patrícia Ribeiro

Atributos e estoque de carbono do solo em sistemas de manejo do solo no município de Paragominas-PA-Brasil. / Patrícia Ribeiro Maia. - Belém, 2014.

90f.

Tese (Doutorado em Ciências Agrárias/Agroecossistemas da Amazônia) – Universidade Federal Rural da Amazônia/Embrapa Amazônia Oriental, 2014.

1. Solo – manejo 2. Latossolo Amarelo 3. Solo – qualidade 4. Carbono orgânico - fracionamento físico 5. Solo – manejo - Paragominas-PA I. Fernandes, Antonio Rodrigues, Orient. II. Universidade Federal Rural da Amazônia. III. Título.

CDD – 631.76098115

Universidade Federal Rural da Amazônia
BIBLIOTECA

Nº 2746 Data 19/11/2014



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL
DOUTORADO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS



PATRÍCIA RIBEIRO MAIA

**ATRIBUTOS E ESTOQUE DE CARBONO DO SOLO EM SISTEMAS DE MANEJO DO
SOLO NO MUNICÍPIO DE PARAGOMINAS-PA-BRASIL.**

Aprovada em 22 de Agosto de 2014.

Banca Examinadora

Dr. Antonio Rodrigues Fernandes - Orientador
Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA

Dr. Jamil Chaar El-Husny - Primeiro examinador
Embrapa Amazônia Oriental

Dr.ª Maria de Lourdes Ruivo - Segunda examinadora
Museu Paraense Emílio Goeldi

Dr. Ismael de Jesus Matos Viégas - Terceiro examinador
Universidade Federal Rural da Amazônia

Dr.ª Regilene Angélica da Silva Souza - Quarta examinadora
Universidade Federal Rural da Amazônia

AGRADEÇO,

Ao Pai celestial, que tem me estendido sua mão e concedido vitórias! **DEDICO**, A Leticia e Eduarda dois anjinhos que me encorajam a lutar por meus ideais... **OFEREÇO**, A Iracilda Maia minha heroína, Nelcy Lobo minha segunda mãe Adolfina Maia (*In Memoriam*) minha saudosa vovó.

AGRADECIMENTOS

Este é apenas mais um dos degraus, que o Senhor permitiu que eu pusesse meus pés, desde o primeiro dia de aula na educação infantil até este momento, houve grande investimento de esforços, recursos e tempo. Para que eu chegasse até aqui foram muitos os mestres que a vida me trouxe, alguns sem nenhuma instrução e outros com pós-doutorado.

Sou sinceramente grata aos meus familiares: Iracilda Maia, Paulina Martins, Ivanildo Lobo, Nelcy Lobo, Letícia Lobo, Lidia Lobo, meus tios, primos, cunhado, enfim todos aqueles que contribuíram e acima de tudo tiveram paciência para comigo.

A Gisele Lobo, pela ajuda nas traduções dos resumos.

Um agradecimento especial ao meu orientador Dr. Antonio Rodrigues Fernandes, pelos ensinamentos e voto de confiança desde a graduação, Valeu mestre!

Ao Pesquisador da EMBRAPA Amazônia Oriental: Luis Wagner Rodrigues Alves, pela concessão das amostragens de solo na área experimental em Paragominas-PA e ensinamentos.

Aos professores: Norberto Noronha, Vânia Melo, Gisele Barata, Antonio Cordeiro, Roberto Cesar Lobo da Costa, Jorge Yared, Marcos André Piedade Gama, Maria de Lourdes Pinheiro Ruivo, Ismael de Jesus Matos Viégas e Francisco de Assis.

Aos amigos da UFRA: Elaine Rodrigues Santos, Daniel Pereira Pinheiro, Rafael Guedes, Nilvan Melo, Yngrid Rodrigues, Otiniel, Jose Melissa Nunes, Diocléa Seabra, Milton Leite, Noemi Leão, Sália Poliana, Joseane Cardoso, Antonio Bonfim Neto, Jessivaldo Galvão, Sônia Botelho e Tatiane Gazel.

Aos funcionários dos laboratórios de solos da UFRA, Museu Emílio Goeldi e Embrapa Amazônia Oriental.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPQ, pela concessão de bolsa.

Aos irmãos que a vida me deu: Possidônio Rodrigues e Saime Rodrigues, pela colaboração e cumplicidade na análise estatística e elaboração dos gráficos. Sem os quais não seria possível a conclusão deste trabalho.

A secretária do programa de pós graduação Mylena Rodrigues, por sua eficiência e atenção.

E a todas as pessoas que, direta ou indiretamente, colaboraram para a concretização deste trabalho o meu sincero: **muito obrigada!**

“Não temas, porque eu sou contigo;
não te assombres porque Eu sou **teu Deus**; eu te fortaleço, e te ajudo e te sustento com a destra da minha justiça.”

Isaías 41: 10

BIOGRAFIA

Patrícia Ribeiro Maia, filha de Raimundo Nonato Spíndola e Iracilda Ribeiro Maia, nasceu em Belém, Pará aos 12 dias do mês de abril de 1979.

Em março de 2003, iniciou o curso de Agronomia na Universidade Federal Rural da Amazônia.

Em novembro de 2007, graduou-se em Agronomia na Universidade Federal Rural da Amazônia.

Em março de 2008, iniciou o curso de pós-graduação em nível de mestrado em Agronomia, na área de Solos e Nutrição de Plantas e obteve o título de Mestre em agronomia, em fevereiro de 2010, na Universidade Federal Rural da Amazônia.

Em março de 2010, iniciou o curso pós-graduação em nível de doutorado em Ciências Agrárias, na área de Ecossistemas da Amazônia, na Universidade Federal Rural da Amazônia, concluindo-o em agosto de 2014, obteve o título de doutora em Ciências Agrárias.

SUMÁRIO

RESUMO	09
ABSTRACT	10
1 REVISÃO DE LITERATURA	14
REFERÊNCIAS	22
2 INDICADORES MICROBIOLÓGICOS DE QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMAS DE MANEJO NO MUNICÍPIO DE PARAGOMINAS-PA	27
2.1 Introdução	30
2.2 Material e métodos	31
2.3 Resultados e discussão	40
2.4 Conclusões	45
REFERÊNCIAS	46
3 CARBONO E NITROGÊNIO DO SOLO EM DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO NO MUNICÍPIO DE PARAGOMINAS-PA	49
3.1 Introdução	52
3.2 Material e métodos	54
3.3 Resultados e discussão	60
3.4 Conclusões	68
REFERÊNCIAS	69
4 ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM SISTEMAS DE PLANTIO NO MUNICÍPIO DE PARAGOMINAS	73
4.1 Introdução	76
4.2 Material e métodos	77
4.3 Resultados e discussão	81
4.4 Conclusões	88
REFERÊNCIAS	89

MAIA, Patrícia Ribeiro. Atributos e estoque de carbono do solo em sistemas de manejo do solo no município de Paragominas-PA-Brasil. Belém: UFRA, 2014. 90 p (Tese – Doutorado em Ciências Agrárias).

RESUMO

Os solos amazônicos apresentam alto grau de intemperismo, ocasionando baixa fertilidade natural. Considerando que o solo é a base para uma agricultura sustentável, é necessário adotar práticas de manejo que conservem e, ou, restaurem sua fertilidade. Neste trabalho objetivou-se avaliar os atributos químicos, biológicos, os teores e frações de carbono e nitrogênio no solo, em um Latossolo Amarelo distrófico, cultivado sob plantio direto e convencional. Um experimento foi desenvolvido em condições de campo na área experimental da EMBRAPA Amazônia Oriental no município de Paragominas-PA. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial de 2 x 5, com três repetições. Consistiu de duas épocas de coleta, antes (Novembro-2010) e após (Maio-2011) o cultivo do milho e cinco sistemas de uso do solo, plantio convencional (PC), três plantios direto (PD), em esquema de rotação e a floresta secundária (FS). A análise dos dados foi feita utilizando-se o programa sigmaplot[®] versão 11.0. A distribuição normal e homogeneidade de variâncias para cada variável foram testados usando o Teste de Kolmogoroff-Smirnoff, fez-se uso também da análise multivariada na avaliação da fertilidade do solo. O PC contribuiu para a redução do carbono da biomassa microbiana, apresentando menor quociente metabólico. Os períodos amostrais de coleta do solo interferiram significativamente nos atributos biológicos avaliados. No Latossolo estudado, os sistemas de cultivo afetaram as proporções das frações de carbono orgânico total da matéria orgânica. A floresta secundária apresentou-se de maneira geral, bastante diferente no que diz respeito a sua fertilidade química, das áreas utilizadas para agricultura, estando mais próxima dos sistemas de plantio direto que do sistema de plantio convencional. Apesar do pouco tempo de implantação o PD apresentou melhor fertilidade do solo, quando comparado ao PC.

Palavras-chave: Latossolo Amarelo, manejo do solo, qualidade do solo, frações da matéria orgânica, Nordeste Paraense.

ABSTRACT

The Amazonian soils have a high degree of weathering which causes low fertility. Whereas soil is the basis for sustainable agriculture, it becomes necessary to adopt management practices that conserve and, or, restore their fertility. This work aimed to evaluate the chemical and biological attributes, the contents and fractions of carbon and nitrogen in the soil, in an Oxisol Yellow dystrophic, cultivated under tillage and conventional tillage. An experiment was conducted under field conditions in the experimental area of Embrapa Amazônia Oriental in the municipality of Paragominas-PA. The experimental design was made in randomized blocks, factorial 2x5 with three replications. The experiment consisted of two collection periods before (November-2010) and after (May-2011) the cultivation of corn and five land use systems, conventional tillage (PC), three direct planting (PD), in rotation scheme and secondary forest (FS). Data analysis was performed using the sigmaplot® program version 11.0. The normal distribution and homogeneity of variances for each variable were tested using the Kolmogorov-Smimoff test, it is also was used multivariate analysis in the evaluation of soil fertility. The PC contributed to the reduction of microbial biomass carbon, with lower metabolic quotient. The sample collection periods influenced significantly on soil biological attributes evaluated. In the Latossolo that was studied, cropping systems affected the proportions of the fractions of total organic carbon from organic matter. The secondary forest showed up in general, quite different with respect to their chemical fertility compared to the areas used for agriculture, being closer to the no-tillage systems in the conventional tillage system. Despite the short time of implementing the PD showed better soil fertility when compared to PC.

Keywords: Oxisol, soil management, soil quality, soil organic matter fractions, Northeast Pará.

1.1 Introdução

O município de Paragominas, situado na Amazônia Oriental, a 320 km da cidade de Belém, possui uma área de 1,93 milhões de hectares e abriga uma população de 97.819 mil habitantes (IBGE, 2010). O município concentra boa parte das atividades econômicas desenvolvidas na região amazônica, dentre elas: O cultivo de soja (*Glycine max* (L.) Merrill), milho (*Zea mays* L.) e arroz (*Oriza sativa* L.), o reflorestamento, a criação de bovinos, a exploração de madeira e a mineração de bauxita. O cultivo de grãos em áreas de floresta secundária (capoeiras) e de pastagens degradadas teve início na década de noventa, com a crise do setor madeireiro. Na atualidade esta região é o maior pólo produtor de grãos do Estado do Pará. Todavia, a intensidade das atividades agropecuárias vem ocasionando a degradação de boa parte dos solos agricultáveis desta região (PINTO et al., 2009).

A Amazônia desempenha importante papel no ciclo global do carbono, por apresentar imensurável quantidade de C armazenado no complexo solo-planta. Na Amazônia, os solos podem acumular de 2,7 a 6,0 Mg de carbono por hectare ao ano, tomando-se urgente a necessidade de estudar novos sistemas de produção agrícolas na região (CERRI et al., 2007).

O solo coberto por vegetação natural apresenta-se em equilíbrio ambiental, sendo menos suscetível a processos de degradação. Quando o equilíbrio natural é afetado pela agricultura ou outras atividades, como ocorre na região de Paragominas, ocasiona perda de nutrientes, matéria orgânica e redução da infiltração de água, fazendo com que o solo perca uma de suas mais importantes funções, que é de atuar como filtro ambiental (RAIJ, 2011). Como método de prevenção e/ou recuperação deve-se buscar alternativas de uso e manejo que contribuam ao bom funcionamento do sistema “solo” (AMADO et al., 2007).

Alterações na atividade da comunidade microbiana interferem diretamente nos processos biológicos e bioquímicos do solo, na produtividade agrícola e, conseqüentemente, na sustentabilidade dos agroecossistemas (SAMPAIO et al., 2008). Sendo, portanto os atributos biológicos sensíveis indicadores do desequilíbrio dos solos. O carbono da biomassa microbiana, respiração basal e quociente metabólico, são importantes ferramentas utilizadas no diagnóstico das condições de qualidade do solo (LOURENTE et al., 2011; SCHNITZER; MONREAL, 2011).

Na literatura especializada diversos trabalhos enfatizam a diferença da qualidade química, bioquímica e biológica do solo, quando comparados os sistemas de plantio direto e plantio convencional (AYOUBE et al., 2012; BALOTA et al., 2008; JAKELAITS et al., 2008). Em Paragominas o grande desafio do plantio direto tem sido manter a palhada e evitar o adensamento

do solo em médio prazo. Sendo esta uma das principais dificuldades encontradas por produtores de grãos da região (RODRIGUES et al., 2013.)

Na região de Paragominas o sistema de manejo plantio direto é recente e ainda vem sofrendo ajustes. Embora apresente algumas vantagens quando comparado ao plantio convencional, o plantio direto apresenta a problemática da manutenção da palhada. Outra problemática é a falta de informações sobre o comportamento dos atributos químicos, biológicos e como as frações orgânicas se acumulam no solo nessa região.

O objetivo geral foi avaliar a fertilidade química, os atributos biológicos e o estoque de C e N de um Latossolo Amarelo sob diferentes sistemas de manejo no Nordeste Paraense. Busca-se com os resultados inferir sobre a fertilidade do solo e estratégias de manejo do solo como forma de indicar o efeito causado na qualidade química e biológica do solo em áreas sob sistemas de plantio direto e plantio convencional. Tal objetivo fundamenta-se nas seguintes hipóteses:

Hipótese 1: Os indicadores microbiológicos são capazes de responder prontamente às modificações ocorridas no solo, indicando alterações rápidas e precisas nos agrossistemas;

Hipótese 2: Os atributos químicos do solo são alterados significativamente em um pequeno prazo, de acordo com o manejo e a cobertura de solo.

Hipótese 3: Devido às diferenças intrínsecas de cada cultura, principalmente em sua estrutura molecular, quantidade de lignina e relação carbono e nitrogênio (C/N), espera-se que diferentes sistemas de manejo e diferentes tipos de cobertura influenciem de maneira diferenciada no COS e a sua compartimentalização.

1.2 Objetivo geral do trabalho

Avaliar os atributos químicos e biológicos do solo, em sistemas de manejo do solo no município de Paragominas-PA.

1.3 Divisão do trabalho em capítulos

O trabalho foi dividido em quatro capítulos. No primeiro capítulo realizou-se a revisão de literatura, em que foram abordados os sistemas de manejo do solo, a qualidade do solo, as gramíneas como cobertura vegetal no solo e a fertilidade química do solo. No segundo capítulo avaliaram-se os atributos biológicos do solo (carbono orgânico total, nitrogênio total, carbono da biomassa microbiana, a respiração basal, o quociente metabólico e o quociente microbiano do solo. O terceiro capítulo deu ênfase aos estoques e fracionamento físico do C e do N total do solo. No

quarto capítulo avaliou-se o efeito dos sistemas de manejo do solo sobre a fertilidade química do solo.

1.4 Revisão de literatura

1.4.1 Sistemas de manejo do solo

Aproximadamente 10% da terra do planeta está sob agricultura intensiva, 17% sob uso extensivo com menor uso de insumos. Com a previsão de que a produção de alimento deverá ser duplicada até 2050, é necessário assegurar que a produção agrícola ocorra de forma sustentável (JACKSON et al., 2007).

A transição de sistemas naturais para agrícolas ocasiona mudança em vários atributos do solo, alguns dos quais, por estarem relacionados com processos do ecossistema e serem sensíveis a variações no uso e manejo do solo, indicam alterações na sua qualidade (DORAN; PARKIN, 1996). Diversos estudos revelam que a substituição da vegetação nativa por sistemas agrícolas cultivados resulta no decréscimo do aporte de C nos diferentes compartimentos da matéria orgânica do solo (MOS) (LEITE et al., 2009). Tais perdas decorrem, em grande parte, do tipo de sistema de manejo adotado nas mais diversas condições de ambiente. Ocorrem, ainda, efeitos diferenciados sobre os atributos físicos, em função do tipo de preparo de solo adotado em cada sistema de manejo, e estes são dependentes da intensidade de revolvimento, trânsito de máquinas, tipo de equipamento utilizado, manejo de resíduos vegetais e das condições de umidade do solo, no momento do preparo (COSTA et al., 2006).

Sistemas de uso e manejo do solo alteram a dinâmica do carbono orgânico do solo (COS), alterando suas taxas de acumulação e decomposição (ÁLVARO-FUENTES et al., 2008; AYOUBI et al., 2012). A utilização do sistema de plantio convencional (PC) tem causado sérios danos ao meio ambiente. O PC não apresenta cobertura constante do solo contribuindo com a perda de solos e nutrientes por erosão e lixiviação (GALEÃO et al., 2006), aumento da densidade do solo, redução da capacidade de armazenamento de água, redução do COS, com conseqüente redução da fertilidade e produtividade do solo.

Como alternativa ao plantio convencional tem se adotado práticas conservacionistas, como o sistema de manejo plantio direto (PD) que se caracteriza pelo não revolvimento do solo e elevado aporte de resíduos através da sucessão/rotação de culturas, ocasionando a tendência de acumulação do COS (ROSCOE et al., 2006).

O PD vem sendo utilizado no Brasil há 04 décadas, consolidando-se como uma tecnologia conservacionista e em 2012 a área utilizada sob PD passou dos 35 milhões de hectares, dos quais a maior parte vem sendo utilizado com cultivos de grãos, principalmente milho e soja (CONAB,

2013). O PD reduz os custos dos cultivos devido à ausência de operações de preparo periódico do solo e do consumo de máquinas e combustível associado às etapas de plantio e semeadura (WANG; CHEN; RAHMAN, 2006).

O manejo ambientalmente incorreto em boa parte das extensas áreas ocupadas por cultivos agrícolas é preocupante. Entretanto, as pesquisas desenvolvidas podem contribuir com uma produção, que contemple a forma de planejar e praticar o manejo responsável em diversos agroecossistemas (MAIA, 2010). Nos últimos anos, são grandes os esforços em busca de sistemas mais conservacionistas que apresentem, com o tempo, incremento de matéria orgânica na superfície do solo (RANGEL; SILVA, 2007).

O preparo intensivo do solo ocasiona a desestruturação e expõe a matéria orgânica ao ataque microbiano (SILVA et al., 2008). Todavia o sistema plantio direto com a permanência de resíduos agrícolas em cobertura, tem contribuído significativamente para o incremento da matéria orgânica e para a melhoria da qualidade química do solo (JAKELAITS et al., 2008). O solo, tanto natural como manejado, deve prorrogar a transferência de C para a atmosfera, permitindo que o C seja retido no material do solo por mais tempo amenizando os efeitos nocivos das mudanças climáticas (BROMICK; LAL, 2005). Entretanto o sucesso do PD decorre do acúmulo de palhada, propiciado pelas culturas de cobertura e restos culturais de lavouras comerciais, possibilitando a criação de um ambiente favorável à recuperação e à manutenção da qualidade do solo (KLIEMANN et al., 2006). A partir do quarto ano agrícola o plantio direto já apresenta melhoria de sua fertilidade química em relação ao preparo convencional, principalmente, para os teores de matéria orgânica ao longo do tempo de cultivo e da produção agrícola em diversas partes do mundo (SILVA; MENDONÇA, 2007).

Os sistemas de manejo conservacionistas do solo são aqueles que têm por objetivo manter, controlar ou restaurar as propriedades do recurso alteradas pela degradação (RIENZI; MAGGI, 2007). A implantação de sistemas de manejo conservacionistas, que tem como princípio a manutenção de cobertura vegetal e seus resíduos sobre o solo é uma das estratégias eficazes para aumentar a sustentabilidade dos sistemas agrícolas nas regiões tropicais e subtropicais (CAIRES et al., 2006). No entanto, pesquisas avaliando a acumulação de carbono orgânico do solo (COS) no SPD em comparação com o SPC não têm sido conclusivas, em alguns estudos são encontrados consideráveis acúmulos, enquanto que em outros não são detectadas diferenças (MAIA, 2010; MELO, 2007). Essas discrepâncias são atribuídas às diferenças entre condições experimentais quanto ao uso das culturas na sucessão/rotação, às diferenças climáticas, ao tempo de uso do plantio direto e ao histórico da área (ROSCOE et al., 2006).

1.4.2 Qualidade do solo

O manejo adequado dos solos agrícolas é o principal fator a ser considerado quando se almeja a produção agrícola sustentável, uma vez que os sistemas de preparo e os sistemas de culturas interferem de modo significativo nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (SAMPAIO et al., 2008)

A qualidade do solo faz referência a capacidade deste em sustentar a produtividade biológica dentro das fronteiras do ecossistema, mantendo o equilíbrio ambiental e promovendo a saúde das plantas e animais e do próprio ser humano (SPOSITO; ZABEL, 2006). A qualidade do solo pode ser mensurada através do uso de indicadores, que são atributos que medem ou refletem o status ambiental ou a condição de sustentabilidade do ecossistema e podem ser classificados como físicos químicos e biológicos (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007).

O uso intensivo do solo causado pela exploração agrícola exacerbada compromete as qualidades químicas, físicas e biológicas do solo, principalmente quando associado ao uso e manejo inadequado. Após a remoção da vegetação natural, a degradação do solo é acentuada pelos cultivos subsequentes, em que a estrutura do solo é a mais comprometida pela intensa mobilização. Desta forma o ambiente ideal para o crescimento vegetal é alterado, até que em determinado momento a produção agrícola é comprometida, o que caracteriza um estágio avançado da degradação (MAIA, 2010).

1.4.2.1 Carbono do Solo

A manutenção da produtividade dos ecossistemas agrícolas e florestais depende, em grande parte, do processo de transformação do C orgânico e, por conseguinte, da biomassa microbiana (GAMA-RODRIGUES; GAMA-RODRIGUES, 2008). Quando comparados os teores de C entre sistema de plantio direto com o sistema convencional, vários trabalhos apontam uma melhoria nos teores de C para o sistema de plantio direto, principalmente nas camadas mais superficiais do solo (ALMEIDA et al., 2005; MAIA, 2010; PEREIRA et al., 2008). Entretanto, as alterações no C orgânico em decorrência das práticas de manejo podem ser identificadas somente anos após o emprego periódico destas, de maneira que, se a perturbação for pontual, dificilmente o C poderá ser utilizada como um indicador dos impactos promovidos (LEITE, et al., 2009).

Os processos mediados biológica e bioquimicamente no solo são fundamentais para a função de ecossistemas terrestres. Em última análise, todos os membros da cadeia alimentar são dependentes do solo como fontes de nutrientes e para decomposição e ciclagem de compostos orgânicos complexos (KONG et al., 2007). Sendo o C orgânico um indicador que influencia, de forma direta, fatores como estabilidade de agregados, estrutura, infiltração e retenção de água,

resistência à erosão, disponibilidade de nutrientes, atividade microbiana, capacidade de troca de cátions e emissão de gases para a atmosfera (RANGEL-VASCONCELOS et al., 2012).

1.4.2.2 Fracionamento do Carbono e Nitrogênio do solo

As alterações no sistema solo em decorrência da mudança do PC para o PD impulsionaram a busca por indicadores que permitissem o entendimento da nova dinâmica. Sendo o COS um atributo com influência sobre as condições químicas, físicas e biológicas do solo, torna-se um parâmetro adequado para avaliar os efeitos dos sistemas de uso e manejo sobre a capacidade produtiva e, portanto, um índice do efeito dos sistemas na sustentabilidade da atividade agrícola na região (BAYER; SCHENEIDER, 1999). Ao avaliarem sistemas de manejo conservacionistas utilizando o fracionamento físico do carbono, Conceição et al (2014), concluíram que o PD proporcionou aumento da quantidade como da labilidade do carbono orgânico do solo.

A densidade do solo, o carbono orgânico total do solo e suas frações granulométricas são atributos frequentemente utilizados para mensurar os efeitos dos diferentes sistemas de uso do solo sobre a estrutura do solo e outros atributos edáficos (WEDDING et al., 2012). A estabilidade do COS relaciona-se à sua recalcitrância molecular que depende da composição e arranjo estrutural, da sua proteção física por oclusão em agregados de solo e da estabilidade química devido à sua interação com componentes minerais; a proteção física é um mecanismo relevante de estabilização do COS em solos brasileiros sob sistemas de manejo sem revolvimento do solo (CONCEIÇÃO et al., 2008). O COS pode ser dividido em frações que possuem diferentes propriedades químicas e físicas e são estabilizadas por mecanismos diferentes, resultando em taxas de acumulação e decomposição desiguais (BALDOCK et al., 1997).

O fracionamento físico do COS tem aumentado nas últimas décadas devido à conscientização de que as taxas de acumulação e decomposição não dependem somente da natureza intrínseca dos resíduos orgânicos, mas também, e talvez mais importante, da natureza de sua associação com os componentes minerais do solo, formando complexos e servindo como barreira física entre o substrato e os organismos decompositores (CHRISTENSEN, 2001).

Para fracionar fisicamente o COS os métodos mais utilizados são o granulométrico, densimétrico (ROSCOE; MACHADO, 2002), ou uma combinação dos métodos anteriores, porém, como o fracionamento densimétrico utiliza solução de densidade, que pode alterar quimicamente as frações é preferível à utilização do fracionamento granulométrico. Após o fracionamento físico, podem-se obter os seguintes compartimentos do COS: fração leve livre ou matéria orgânica particulada (FLL), fração leve intra-agregado ou fração oclusa (FLO), fração pesada (FP) e fração silte + argila (FSA).

A FLL é considerada um estoque transitório de COS, seu material é derivado principalmente de restos vegetais, contendo também quantidades pequenas de resíduos microbianos e da microfauna. Pode também apresentar COS biologicamente inerte, como o carvão vegetal. Nessa fração COS possui uma rápida taxa de transformação e elevada relação C/N quando comparada com as frações pesadas (CHRISTENSEN, 1996).

A FLO compreende a fração incorporada e fisicamente estabilizada em macroagregados. Composta por um variado conjunto de material orgânico, incluindo resíduos de plantas, pellets fecais, grãos de pólen, pelos radiculares e estruturas fúngicas, com um tamanho reduzido e grau mais avançado de decomposição em relação à FLL. Geralmente apresenta um tempo de ciclagem maior que a FLL devido possuir dois tipos de mecanismos de proteção. Esses mecanismos são a recalitrância intrínseca das moléculas e a oclusão nos agregados (CHRISTENSEN, 1996).

A FP caracteriza-se pela forte ligação aos constituintes minerais do solo, formando os complexos organominerais primários. É mais humificada que a FLL. Pode apresentar-se associada aos minerais com tamanho maior que 50 μm composta de resíduos vegetais em estágios de decomposição diferentes, apresentando relação C/N de aproximadamente 20. Também pode apresentar-se associada a partículas com diâmetro de 2-50 μm , composta de resíduos vegetais e fúngicos com alto grau de humificação associados com microagregados estáveis, sendo denominado complexo organossiltoso, apresentando relação C/N de aproximadamente 15. Porém, também pode ser encontrada associada a partículas menores que 2 μm , onde predomina matéria amorfa, cimentando a matriz argilosa, sendo denominada complexo organoargiloso e apresentando relação C/N de aproximadamente 10 (FELLER; BEARE, 1997). A FSA apresenta o compartimento do COS mais humificado que os demais, apresentando geralmente baixa relação C/N. A substituição do ecossistema natural por ecossistemas agrícolas na Amazônia altera também a distribuição das frações físicas do solo (MELO, 2007). Apesar disso, na Amazônia, poucos são os trabalhos que evidenciam as alterações das frações do c.

1.4.2.3 Atividade microbiana no solo

A atividade dos microrganismos sofre grande influência do tipo de utilização do solo e a relevância de sua quantificação se deve, portanto, à conveniência de usá-la como índice mais sensível às mudanças ocorridas no sistema, comparado aos conteúdos de C orgânico (GAMA-RODRIGUES et al., 2005). A atividade da microbiota do solo pode ser avaliada de diversas formas, como pela medição da sua biomassa, da atividade de certas enzimas no solo, medidas da respiração basal (FRANCHINI et al., 2007), entre outras. O parâmetro mais antigo utilizado na quantificação da atividade metabólica nos solos é a respiração. Assim como outras atividades metabólicas, a respiração é dependente do estado fisiológico da célula e é influenciada por diversos fatores no solo,

tais como umidade, temperatura, estrutura do solo e disponibilidade de nutrientes (ÁLVARO-FUENTES et al., 2008).

A fração viva da matéria orgânica, responsável por processos bioquímicos e biológicos no solo, sensivelmente alterada pelas condições impostas pelo meio denomina-se biomassa microbiana do solo (BMS) (BALOTA et al., 2008). Dessa forma, a BMS é influenciada pelo clima, pela aeração, pela disponibilidade de nutrientes minerais e pelo C orgânico do solo. Podendo representar até 4% de sua composição (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). BMS está relacionada a inúmeros processos: decomposição de resíduos orgânicos, ciclagem de nutrientes, solubilização de nutrientes, degradação de compostos xenobióticos e de poluentes, estruturação do solo e controle biológico de patógenos (KASCHUK et al., 2009), sendo reconhecida, portanto, como um componente importante para a qualidade e produtividade do solo. Nos agroecossistemas, a biomassa microbiana imobiliza entre 100 e 600 kg/ha de N e 50 e 300 kg/ha de P até a profundidade de 30 cm no perfil do solo, quantidades que excedem a aplicação anual de fertilizantes (MARTENS, 1995).

O quociente metabólico (qCO_2), proposto por Anderson e Domsch (1993) definido pela razão entre a respiração basal por unidade de biomassa microbiana do solo e por unidade de tempo, é um atributo que permite a identificação de solos contendo biomassa mais eficiente na utilização de C e energia, podendo sugerir menor desequilíbrio do sistema solo (CHAER; TÓTOLA, 2007). O quociente metabólico (qCO_2), tem sido utilizada para estudar os processos de ciclagem e transformação de nutrientes (MALUCHE-BARETTA et al., 2006). Vários estudos demonstram a eficiência do qCO_2 , pois uma biomassa microbiana eficiente perde menos carbono como CO_2 pela respiração e incorpora maior proporção de carbono ao tecido (FRANCHINI et al., 2007; MAIA, 2010; SAMPAIO et al., 2008;).

É importante salientar que, com frequência, os atributos microbiológicos relacionados à microbiota do solo são capazes de detectar alterações pelo manejo do solo e das culturas em um estágio anterior ao das mudanças nos atributos químicos e físicos, constituindo em bioindicadores mais sensíveis de qualidade do solo (FRANCHINI et al., 2007).

1.4.2.4 Estoque de carbono do solo

O estoque de carbono orgânico (CO) é resultante do balanço entre entradas e saídas de carbono dentro do solo (DAVIDSON e JANSSENS, 2006). O estoque de CO do solo compreende frações intimamente associadas aos minerais, até frações mais lábeis, pouco ou não associadas à fração mineral, como os resíduos vegetais existentes entre e dentro de agregados do solo (ROSCOE; MACHADO, 2002). Tanto o CO do solo quanto o C da biomassa microbiana têm sido utilizados como indicadores de alterações e de qualidade do solo, uma vez que estão associados às

funções ecológicas do ambiente e são capazes de refletir as mudanças de uso do solo (JACKSON et al., 2007). Todavia diferentes métodos são atualmente adotados para determinar o teor de C do solo, o que pode levar a resultados variados e, dessa maneira, dificultar a interpretação dos impactos do manejo (RODRIGUES et al., 2014). Diversos trabalhos da literatura especializada comparam sistemas de manejo do solo e demonstram maiores estoques de C no PD associado a sistemas de cultura diversificados (AMADO, 2007; LAL, 2009; RODRIGUES et al., 2014). Todavia, a região Nordeste paraense apresenta pouquíssimos trabalhos sobre sistemas de manejo do solo.

O incremento no aporte de resíduo e a ausência do preparo do solo no PD, diminui a exposição do C protegido nos agregados à comunidade microbiana, retardando o processo de decomposição, ocasionando acúmulo do CO₂. Os sistemas de PD ou a rotação de culturas são fatores de diversificação do agroecossistema, por aumentarem a variação estrutural e de espécies (ENDEM; WILLIAMS (1974).

1.4.3 Gramíneas como cobertura vegetal no solo

O potencial produtivo de espécies formadoras de palhadas, em sistemas de rotação/sucessão de cultura no PD é pouco estudado, principalmente os compartimentos em que o COS é acumulado. Estudos são necessários para elucidar o potencial de produção dos diferentes resíduos e como os mesmos estariam influenciando a dinâmica do COS no PD (ROSCOE et al., 2006). A associação de sistemas de sucessão com grande aporte de resíduos pode favorecer o acúmulo de grande quantidade de COS que pode ser um importante dreno de CO₂ da atmosfera, contribuindo para a mitigação do efeito estufa (BRANCALIÃO; MORAES, 2008).

Em sistemas de manejo do solo em que são incluídas gramíneas para produção de palhada ocorre maior presença de raízes, que promovem aumento na proporção de solo rizosférico. Quanto maior a quantidade dessas raízes, aliado ao corte da parte aérea, que provoca alta exsudação de compostos orgânicos (TISDALL; OADES, 1982), as raízes melhoram a aeração do solo, melhoram a agregação das partículas do solo, tornando maior o favorecimento da BMS, entre outras características. A escolha inadequada das plantas de cobertura, o mau uso das práticas de conservação de solos, a ausência de manutenção da fertilidade do solo são as principais causas do insucesso dos sistemas de produção agrícola (PIETOLA et al., 2005).

1.4.5 Fertilidade química do solo

A fertilidade do solo é um fator decisivo para o rendimento satisfatório das culturas agrícolas e a sua distribuição espacial, horizontal e vertical, pode alterar significativamente a

produtividade média em uma área cultivada. Os atributos físicos, químicos e biológicos do solo apresentam diversas inter-relações que interferem nos processos e aspectos ligados à sua variação no tempo e no espaço. Assim, qualquer alteração no solo pode alterar diretamente sua estrutura e sua atividade biológica e, conseqüentemente, sua fertilidade, com reflexos nos agroecossistemas (BROOKES, 1995).

A simples mensuração de um atributo isolado do solo, como resposta à prática de manejo, geralmente não é eficiente para estabelecer relação causa-efeito com a fertilidade química do solo. Na maioria das vezes isso se deve a elevada complexidade do sistema solo, por ser altamente dinâmico cuja funcionalidade emerge de interações entre componentes do solo (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009). Para se analisar a estrutura da dependência espacial da fertilidade dos solos, devem ser analisados conjuntamente diversos nutrientes, o que, ao ser realizado por meio de métodos estatísticos univariados, eleva a dimensão do problema. Devendo-se fazer uso da estatística multivariada (SILVA et al., 2010b).

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, J. A.; BERTOL, L.; LEITE, D.; AMARA, A. J.; ZOLDAN JÚNIOR, L. W. A. Propriedades químicas de um Cambissolo Húmico sob preparo convencional e semeadura direta após seis anos de cultivo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 437-445. 2005.

ÁLVARO-FUENTES, J.; LÓPEZ, M.V.; CANTERO-MARTINEZ, C.; ARRÚE, J. L. Tillage effects on soil organic carbon fractions in mediterranean dryland agroecosystems. *Soil Science Society American Journal*, v. 72, n. 2, Mar–April, 2008.

AMADO, T.J.C.; CONCEIÇÃO, P.C.; BAYER, C.; ELTZ, F.L.F. Soil Quality Evaluated by "Soil Quality Kit" in two long-term soil management experiments in Rio Grande do Sul State, Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31,n.1, p.109-121, 2007.

ANDERSON, T.H. & DOMSCH, K.H. The metabolic quotient for CO₂ (qCO_2) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. *Soil Biology Biochemistry*, v.25, p.393-395, 1993.

ARAÚJO, A.S.F.; MONTEIRO, R.T.R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. *Bioscience Journal*, Uberlândia, v. 23, n. 3, p. 66-75, 2007.

AYOUBI, S.; KARCHEGANI, P. M.; MOSADDEGHI, M. R.; HONARJOO, N. Soil aggregation and organic carbon as affected by topography and land use change in western Iran. *Soil & Tillage Research*, v. 121, p. 18–26, 2012.

BALDOCK, J. A., OADES, J. M., NELSON, P. N., SKENE, T. M., GOLCHIN, A. and CLARKE, P. Assessing the extent of decomposition of natural organic materials using solid-state ¹³C NMR spectroscopy. *Australian Journal Soil Research*, v.35, p. 1061–1083, 1997.

BALOTA, E.L.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D.S.; HUNGRIA, M. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 22, p.641-649, 2008.

BAYER, C.; SCHENEIDER, N. G. Plantio direto e o aumento no conteúdo de matéria orgânica do solo em pequenas propriedades rurais no município de Teutônia. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 29, n. 1, p. 165-166, 1999.

BRANCALÃO, S. R.; MORAES, M. H. Alterações de alguns atributos físicos e das frações húmicas de um nitossolo vermelho na sucessão milho-soja em sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p.393-404, 2008.

BROMICK, C.J.; LAL, R. Soil structure and management. *Geoderma*, v.124, p.3-22, 2005.

BROOKES, P.C. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. *Biol. Fert. Soils*, v.19, p.269-279, 1995.

CAIRES, E.F.; GARBUIO, F.J.; ALLEONI, F.; CAMBRI, M.A. Calagem superficial e cobertura de aveia-preta antecedendo os cultivos de milho e soja em sistema de plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa v. 30, p.87-98, 2006.

CERRI, C.E.P.; EASTER, M.; PAUSTIAN, K.; KILLIAN, K.; COLEMAN, K.; BERNOUX, M.; FALLOON, P.; POWLSON, D.S.; BATJES, N.H.; MILNE, E.; CERRI, C.C. Predicted soil organic carbon stocks and changes in the Brazilian Amazon between 2000 and 2030. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 122, n. 1, 58-72, 2007.

CHAER, G.M.; TÓTOLA, M.R. Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma de plantios de eucalipto sobre indicadores de qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1381-1396, 2007.

CHRISTENSEN, B. T. Structure and organic matter storage in agricultural soils. In: _____. **Advances in Soil Science**, Boca Raton, CRC Press. 1996. p. 143-159.

CHRISTENSEN, B. T. Physical fractionation of soil and structural and functional complexity in organic matter turnover. **European Journal of Soil Science**, v.52, p.345-353, Sept. 2001.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de Grãos: sexto levantamento 2012/13** Março 2013. Brasília: Conab, 2013. 26p.

CONCEIÇÃO, P.C.; BAYER, C.; DIECHOW, J.; SANTOS.D.C. Fracionamento físico da matéria orgânica e índice de manejo de carbono de um Argissolo submetido a sistemas conservacionistas de manejo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.44, n.5, p.794-800, mai, 2014.

CONCEIÇÃO, P. C.; MADALENA, B.; DIECKOW, J.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Fracionamento densimétrico com politungstato de sódio no estudo da proteção física da matéria orgânica em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p. 541-549, 2008.

COSTA, E. A.; GOEDERT, W. J.; SOUZA, D. M. G. Qualidade de solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 41, n. 7, p. 1185- 1191, 2006.

DAVIDSON, E. A.; JANSSENS, I. A. Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. **Nature**, London, v. 440, p. 165-173, 2006

DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J., eds. **Methods for assessing soil quality**. Madison, **Soil Science Society of America**, 1996. p. 25-37. (SSSA Special Publication, 49).

EMDEN, H. F. VAN; WILLIAMS, G. F. Insect stability and diversity in agro-ecosystems. **Annual Review of Entomology**, Palo Alto, v. 19, p. 455-474, 1974.

FELLER, C.; BEARE, M. H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. **Geoderma**, v. 79, p. 69-116, 1997.

FRANCHINI, J.; CRISPINO, C.; SOUZA, R.; TORRES, E.; HUNGRIA, M. Microbiological parameters as indicators of soil quality under various soil management and crop rotation systems in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 92, n. 1, p. 18-29, 2007.

GALEÃO, R. R.; CARVALHO, J. O. P de; YARED, J. A. G.; MARQUES, L. C. T.; COSTA FILHO, P. P. Diagnóstico de projetos de reposição florestal no Estado do Pará. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, n. 45, p. 101-120, 2006.

GAMA-RODRIGUES, E.F.; BARROS, N.F.; RODRIGUES, A.C.G.; SANTOS, G.A. Nitrogênio, carbono, e atividade da biomassa microbiana do solo em plantações de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 6, p. 893-902, 2005.

GAMA-RODRIGUES, E.F.; GAMA-RODRIGUES, A.C. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O., eds. **Fundamentos da matéria orgânica do solo ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2.ed. Porto Alegre, Metrópole, 2008. p.159-170.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Banco de dados. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/default_prod.shtm>. Acesso em: 02 novembro 2013.

JACKSON, L. E.; PASCUAL, U.; HODGKIN, T. Utilizing and conserving agrobiodiversity in agricultural landscapes. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 121, p. 196-210, 2007.

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

KASCHUK, G.; ALBERTON, O.; HUNGRIA, M. Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 42, n. 1, p. 1-13, January, 2009.

KLIEMANN, H. J.; BRAZ, A. J. P. B. Taxas de decomposição de resíduos de espécies de cobertura em Latossolo Vermelho distroférrico. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.36, n.1, p.21-28, 2006.

KONG, A. Y. Y.; FONTE, S. J.; KESSEL, C. V.; SIX, J. Soil aggregates control N cycling efficiency in long-term conventional and alternative cropping systems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 79, n. 1, p. 45-58, 2007.

LAL, R. Sequestering atmospheric carbon dioxide. **Critical Reviews in Plant Science**, v. 28 p. 90-96, 2009.

LEITE, M.H.S.; COUTO, E.G.; AMORIM, R.S.S.; DACOSTA, E.L.; MARASCHIN, L. Perdas de solo e nutrientes num latossolo vermelho-amarelo ácrico típico com diferentes sistemas de preparo e sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, p.689-699, 2009.

LOURENTE, E. R. P.; MERCANTE, F. M.; ALOVISI, A. M. T.; GOMES, S. F.; GASPARINE, A. S.; NUNES, C. M. Atributos microbiológicos, químicos e físicos de solo sob diferentes sistemas de manejo e condições de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 20-28, 2011.

MAIA, P.R. **Rebrota do sorgo e atributos biológicos em função da adubação potássica e sistemas de manejo e persistência da palhada no solo da Amazônia Oriental**. Belém. 91p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia. 2010.

MALUCHE-BARETTA, C.R.D.; AMARANTE, C.V.T.; KLAUBERG-FILHO, O. Análise multivariada de atributos do solo em sistemas convencional e orgânico de produção de maçãs. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.1531- 1539, 2006.

MARTENS, R. Current methods for measuring microbial biomass-C in soil: potentials and limitations. **Biology and Fertility of Soils**, v. 19, p. 87-99, 1995.

MELO, V.S. **Avaliação da qualidade dos solos em sistemas de floresta-capoeira-pastagem na Amazônia Oriental por meio de indicadores de sustentabilidade microbiológicos e bioquímicos**. Belém, 120p. Tese de Doutorado – Universidade Federal Rural da Amazônia, 2007.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2006, 626 p.

PEREIRA, F. H.; MERCANTE, F. M.; PADOVAN, M. P. Biomassa microbiana do solo sob sistemas de manejo com diferentes coberturas vegetais. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 3, p. 130-133, 2008.

PIETOLA, L.; HORN, R.; YLI-HALLA, M. Effects of trampling by cattle on the hydraulic and mechanical properties of soil. **Soil & Tillage Research**, v.82, p.99-108, 2005.

PINTO, A., AMARAL, P., JR, C.S, VERISSÍMO, A., SALOMÃO, R., GOMES, G. BALIEIRO, C. **Diagnóstico Sócioeconômico e Florestal do Município de Paragominas. Relatório técnico**. Belém-PA. Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia – IMAZON, 2009.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Internacional Plant Nutrition Institute, 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**, v.31, p. 1609-1623, 2007.

RANGEL-VASCONCELOS, L. G. T.; KATO, O. R.; VASCONCELOS, S.S. Matéria orgânica leve do solo em sistemas agroflorestais de corte e trituração sob manejo de capoeira. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.47, n.8, p.1142-1149, ago. 2012.

RIENZI, E.A.; MAGGI, A.E. Manejo y conservación de suelos de sistemas frutícolas. In: SOZZI, G. (Ed. Lit.). **Árboles Frutales: Ecofisiología, Cultivo y Aprovechamiento**. 1. ed. Buenos Aires: Editorial Facultad de Agronomía – Universidad de Buenos Aires, 2007. p.343-362.

RODRIGUES, I.A.; RODRIGUES, G.S.; MAKLOUFF, C.E.J.; RODRIGUES, L.W. **Avaliação de impactos ambientais, sociais e econômicos do sistema plantio direto de grãos, na fazenda Rio Grande, Paragominas-PA**. EMBRAPA, Amazônia Oriental, Belém 2013, 36p.

RODRIGUES, S. J. S. C.; VASCONCELOS, S.S.; PEREIRA, M. E. M.; SOUZA, C.M.A. Methods for the determination of carbon in Ultisol in eastern Amazon. **Revista Ciências Agrárias**, v. 56, n. Supl., p. 95-100, 2014.

ROSCOE, R.; MACHADO, P.L.O. 2002. **Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica**. Embrapa Agropecuária Oeste/ Embrapa Solos, Dourados, MS/ Rio de Janeiro, RJ, 86p.

ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; SALTON, J. C. Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas. Modelagem matemática e métodos auxiliares. **EMBRAPA, Dourados**, MS, 2006, 307 p.

SAMPAIO, D. B.; ARAÚJO, A. S. F.; SANTOS, V. B. Avaliação de indicadores biológicos de qualidade do solo sob sistemas de cultivo convencional e orgânico de frutas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 2, p. 353-359, 2008.

SCHNITZER, M.; MONREAL, C. M. Quo vadis soil organic matter research?: a biological link to the chemistry of humification. **Advances in Agronomy**, v. 113, p. 139-213, 2011.

SILVA, I. R. da ; SÁ MENDONÇA, E. de. Matéria orgânica do solo. IN: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B. & NEVES, J. C. L. **Fertilidade do Solo**. Viçosa-MG; Sociedade Brasileira de ciência do Solo, 2007. p. 275-374.

SILVA, R.F.; MERCANTE, F.M.; OTSUBO, A.A. Macrofauna invertebrada do solo em sistema integrado de produção agropecuária no Cerrado. **Acta Scientiarum**. Agronomy, 30(5):725-731, 2008.

SILVA, S. A.; LIMA, J.S.S.; XAVIER, A.C.; TEIXEIRA, M.M. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo húmico cultivado com café. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 15-22, 2010b.

SPOSITO,G.; ZABEL,A. The assessment of soil quality. **Geoderma**, v.144, n .3/ 4. p. 143-144, 2006.

TISDALL, J.M.; OADES, J.M. Organic matter and waterstableaggregates in soil. **Journal Soil Science**, 33:141-163, 1982.

VEZZANI, F.M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.743- 755, 2009.

WANG, Y.; CHEN, Y.; RAHMAN, S. Tillage effects on soil strength and crop growth for Red River clay. **The Canadian Society for Bioengineering**, v. 202, n. 06, p. 1-13, 2006.

WENDLING, B.; VINHAL-FREITAS, I. C.; OLIVEIRA, R. C.; BABATA, M. M.; BORGES, E. N. Densidade, agregação e porosidade do solo em áreas de conversão do cerrado em floresta de pinus, pastagem e plantio direto. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 1, p. 256-265, 2012.

CAPÍTULO 2- INDICADORES MICROBIOLÓGICOS DE QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMAS DE MANEJO NO MUNICÍPIO DE PARAGOMINAS-PA

RESUMO

No município de Paragominas predominam os Latossolos. Estes são altamente intemperizados e de baixa fertilidade natural, quando submetidos ao manejo e uso inadequados diminuem rapidamente a capacidade produtiva. Entre os atributos do solo, a biomassa microbiana, a respiração basal, o quociente metabólico e o quociente microbiano têm se apresentado como sensíveis indicadores da qualidade do solo. O objetivo deste trabalho foi avaliar os atributos biológicos, os teores de carbono e nitrogênio total no solo em função dos diferentes sistemas de manejo. O experimento foi realizado em condições de campo na área experimental da EMBRAPA Amazônia Oriental no município de Paragominas-PA. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial de 2 x 5, com três repetições. Consistiu de duas épocas de coleta, antes (Novembro-2010) e após (Maio-2011) o cultivo do milho e cinco sistemas de uso do solo, plantio convencional (PC), três plantios direto (PD), em esquema de rotação. Avaliou-se, o carbono orgânico total (COT), o carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS), a respiração basal, o quociente metabólico (qCO_2) e o quociente microbiano (qMIC %), além dos teores de C e N no solo. O PC promoveu redução do carbono da biomassa microbiana em todas as profundidades amostradas na amostragem antes do plantio do milho. Observou-se maiores valores de qCO_2 no PC em relação a floresta secundária. Foram encontrados maiores valores de NT na coleta após a colheita do milho. O carbono orgânico total mostrou-se sensível, independente do sistema de manejo do solo.

Palavras-chave: Qualidade do solo, atributos biológicos do solo, relação C/N, plantio direto, solos da Amazônia.

ABSTRACT

In the city of Paragominas the Oxisols predominate. These are highly weathered and low fertility when subjected to improper handling and use quickly diminish the productive capacity. Among the soil properties, microbial biomass, basal respiration, metabolic quotient and microbial quotient have been presented as sensitive indicators of soil quality. The aim of this study was to evaluate the biological attributes, contents of total carbon and nitrogen in the soil for different tillage systems. The experiment was conducted under field conditions in the experimental area of Embrapa Amazônia Oriental in the city of Paragominas-PA. The experimental design was randomized blocks, factorial 2 x 5, with three replications. The experiment consisted on two collection periods before (November-2010) and after (May-2011) maize cultivation and five land use systems, conventional tillage (PC), three no-tillage (PD), in layout rotation. We evaluated the total organic carbon (COT), carbon from the soil microbial biomass (C-BMS), basal respiration, metabolic quotient (qCO_2) and microbial quotient ($qMIC\%$). We also evaluated the levels of C and N in the soil. The PC promoted reduction of microbial biomass at all depths sampled in sampling before planting corn. It was observed larger values of qCO_2 on PC compared to secondary forest. Higher values of NT were found in the collection after the corn harvest. The total organic carbon was sensitive, independent of soil tillage system.

Keywords: Soil quality, biological soil properties, C / N ratio, tillage, soil Amazon.

2.1 INTRODUÇÃO

Na atualidade, o maior desafio da agricultura é a busca da sustentabilidade socioeconômica da exploração agrícola ou de uma nova condição de equilíbrio do sistema de produção, que envolve, dentre outros, o manejo adequado do solo associado à corretas rotações e/ou consorciações culturais (KASCHUK et al., 2009).

Na literatura inúmeros trabalhos fornecem evidências de que o armazenamento de carbono no solo costuma ser maior em sistemas naturais quando comparados a solos antropizados. Entretanto, os sistemas cultivados, podem agir como fonte ou dreno de CO₂ atmosférico (LAL, 2009). Diversas definições sobre o armazenamento de C no solo referem-se apenas à remoção de CO₂ da atmosfera e consequente armazenamento na forma orgânica do solo. Todavia a matéria orgânica do solo é um complexo dinâmico que tem como princípio a produção de resíduos e sua decomposição, dependendo de fatores bióticos e abióticos (SCHNITZER e MONREAL, 2011).

O quociente metabólico (qCO₂) é considerado um índice para avaliar o efeito das condições de estresse sobre a atividade da biomassa microbiana do solo (Anderson e Domsch 1993), o qMIC expressa a eficiência da microbiota do solo em imobilizar C e N em função da qualidade nutricional da matéria orgânica (SPARLING 1992). De acordo com Anderson e Domsch (1993), pode-se calcular o qCO₂ e o qMIC a partir de dados do carbono orgânico, carbono da biomassa e da respiração basal. Pela relação respiração basal/carbono da biomassa calcula-se o qCO₂ este é um sensível indicador de comunidades microbianas em estágio inicial de desenvolvimento, atividade microbiana elevada ou indicador de estresse na comunidade microbiana. Em pesquisa avaliando sistemas de manejo do solo no verão e no inverno Lourente et al, (2011) encontraram diferença entre os sistemas estudados somente no inverno, ocorrendo no verão redução do qCO₂ para a vegetação nativa, indicando menor perda de CO₂ por unidade de biomassa.

O qMIC é calculado pela relação carbono da biomassa/ carbono orgânico total, sendo um indicador da qualidade da matéria orgânica. Alto qMIC pode representar entrada de resíduos de alta qualidade que por apresentarem baixo teor de lignina se decompõem mais rapidamente, influenciando na atividade e quantidade da biomassa microbiana (MAIA, 2010).

A entrada de N no sistema ocorre por meio da fixação biológica e da adubação, já as perdas ocorrem devido a erosão, lixiviação, desnitrificação e remoção pelas colheitas, sendo primordial um balanço positivo de N no sistema para que haja acúmulo desse nutriente e, por conseguinte, de MOS (DIEKOW et al., 2005a).

A relação C:N é um importante indicador da decomposição da matéria orgânica do solo, dando informação sobre o estado de humificação. Na decomposição da matéria orgânica dos solos a relação C:N contribui para a determinação da competição entre os nutrientes essenciais para a atividade dos microorganismos do solo (MARSCHNER et al, 2008). O objetivo deste trabalho foi avaliar os atributos biológicos, os teores de carbono e nitrogênio total no solo em função dos diferentes sistemas de manejo.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Localização e descrição da área de estudo

O estudo foi desenvolvido, em área do campo experimental da Embrapa (Figura 1), em Paragominas, Nordeste do Estado do Pará, no domínio do Bioma Floresta Amazônica, cujas coordenadas geográficas são: 02° 51' 54" S e 48° 23' 40" W e altitude de 88 m. O solo utilizado no experimento foi um Latossolo Amarelo Distrófico (EMBRAPA, 2013), com relevo plano, característico da região (RODRIGUES et al., 2003). A figura 1 apresenta a localização da área de estudo no "software" Google Earth, o registro ocorreu no dia 10 de outubro de 2010.

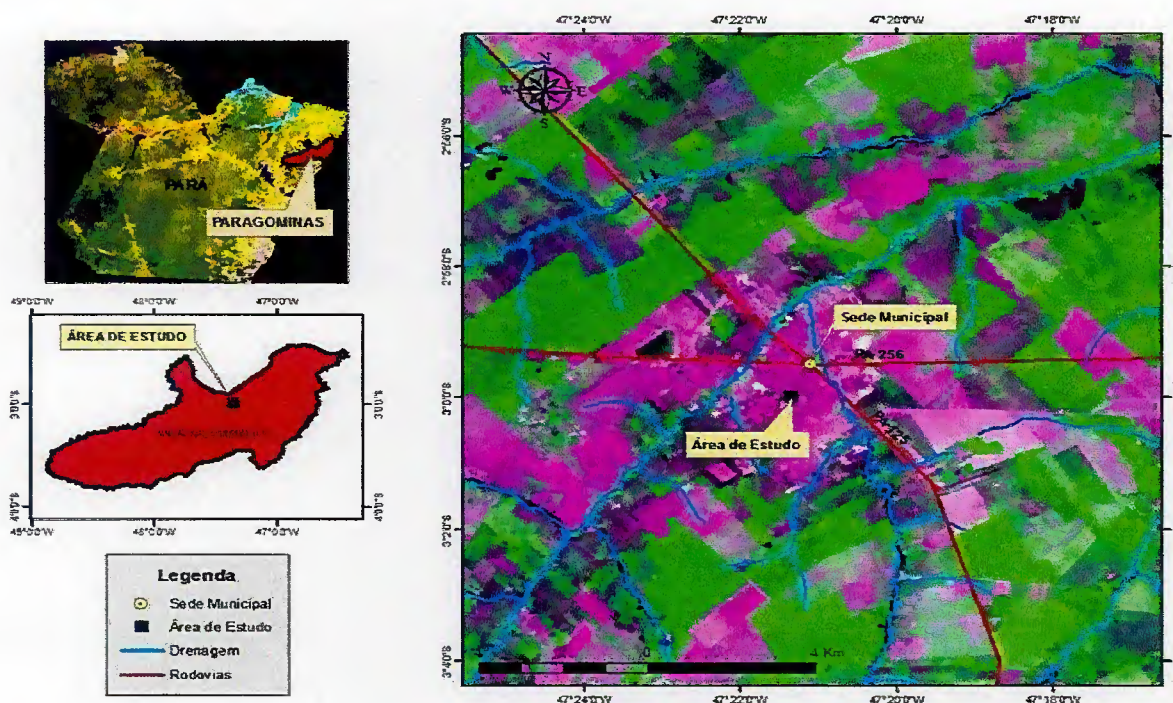


FIGURA 1: Imagem de satélite do campo experimental no município de Paragominas/PA.

Fonte: Google Earth, 2010.

O clima da área estudada é do tipo Aw, segundo a classificação de Köppen, isto é, tropical chuvoso com estação seca bem definida, com temperatura média anual de 26,5 °C. A precipitação

pluviométrica anual é de 1.800 mm com duas estações, uma chuvosa que vai de dezembro a maio, com excedente hídrico de 282 mm e outra menos chuvosa de junho a novembro onde ocorre um déficit hídrico de 512 mm. A umidade relativa do ar varia de 70 a 90% (RODRIGUES et al., 2003). Na tabela 1, são apresentadas as médias mensais de variações de temperatura ambiente (T) e precipitação pluvial (Pp), durante os dez dias que antecederam as coletas de solo. Escolheu-se os meses de novembro e maio, por apresentarem diferença em relação a precipitação pluviométrica na região. Sendo o mês de novembro menos chuvoso e o mês de maio mais chuvoso.

TABELA 1: Médias diárias de precipitação pluvial, e temperaturas mínima e máxima durante os dez dias antes das coletas, em Paragominas-PA.

Dias antes da coleta	PP (mm)		T min (°C)		T max (°C)	
	Nov/2010	Mai/2011	Nov/2010	Mai/2011	Nov/2010	Mai/2011
10	7	21	21,4	23,7	35,4	31,1
9	0	39	22,5	23,7	36,3	32,4
8	4	23	22,6	23,1	34,4	32,1
7	5	36	23,2	23,3	35	30,8
6	0	0	21,8	23,9	34,9	30,4
5	0	0	23,4	23,1	34,5	31,3
4	6	12	24,3	23,2	34,7	32,7
3	3	8	22,2	23,4	34,1	33
2	0	17	22,9	22,6	34,7	32,4
1	0	12	23,3	22,4	35,1	33,2
	<u>Total precipitação (10dias)</u>		<u>Média T min (°C) (10dias)</u>		<u>Média T max (°C) (10dias)</u>	
	23	61	22,8	23,3	34,9	31,9

FONTE : INMET-PA (2013)

2.2.2 Experimento de campo

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial de 2 x 5, com três repetições. Consistiu de duas épocas de coleta: antes (18/11/2010) e após (05/05/2011) o cultivo da cultura do milho; cinco sistemas de uso do solo: plantio convencional (PC), três plantios direto (PD), em esquema de rotação conforme Tabela 2, e floresta secundária (FS) com cerca de 20 anos (área de referência).

Antes do início do experimento, em 2008, toda a área foi preparada de forma convencional (aração e gradagens). Assim o plantio foi efetuado em quatro safras, sendo um plantio convencional no ano 2008 e três safras subsequentes (2009, 2010 e 2011) nos sistemas de plantio direto, sendo que o plantio convencional seguiu ao mesmo tempo em que os sistemas de plantio direto se estabeleciam. As culturas se sucederam no tempo e no espaço, conforme planejamento de quatro anos (Tabela 2). Para fins de referência, próximo à área experimental, no mesmo tipo de solo, numa área (> 4 ha) sob floresta secundária (FS) amostras foram coletadas.

TABELA 2: Histórico de sucessões de culturas nos tratamentos avaliados.

Ano	2008	2009	2010	2011
Tratamento	P ¹	P ¹ /CB ²	P ¹ /CB ²	P ¹
PD1	Soja	Arroz/Milheto	Milho/Ruziziensis	Soja
PD2	Soja	Arroz/Quicuío	Milho/Piatã	Soja
PD3	Soja	Arroz/Pousio	Milho/Massai	Soja
PC	Soja	Arroz	Milho	Soja
FS	FS	FS	FS	FS

¹- Cultura principal, ²- Planta de cobertura.

O planejamento de adubação e manejo do experimento ocorreu da seguinte forma: cultura do arroz (2009) – espaçamento de 0,22 m entre linhas com 50 plantas/m e adubação com 250 kg ha⁻¹ da fórmula NPK (10-28-20) e 100 kg ha⁻¹ de uréia em cobertura. Aplicação do herbicida Ronstar (oxadiazon) na dose de 2,5 L ha⁻¹ em pós-emergência inicial de plantas daninhas; cultura do milho (2010) – espaçamento de 0,70 m entre linhas com 4,5 plantas/m linear e adubação com 350 kg ha⁻¹ da fórmula NPK (10-28-20) e 200 kg ha⁻¹ de uréia em cobertura e uso de herbicidas à base de alachlor na dose de 5 L ha⁻¹ e atrazine na dose de 4 L ha⁻¹ em pós-emergência inicial das plantas daninhas; cultura da soja (2011) – espaçamento de 0,45 m entre linhas com 12 plantas/m e adubação com 350 kg ha⁻¹ da fórmula NPK (04-20-20) e quatro doses por hectare de inoculante (*Bradyrhizobium japonicum*) com veículo turfoso e aplicação do herbicida Imazethapyr na dose de 1,0 L ha⁻¹ em pós emergência precoce das plantas daninhas.

As parcelas apresentaram a dimensão de 0,03 ha (30 x 10 m). A coleta do solo foi realizada nas profundidades de 0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm, nos dois períodos amostrais em todos os tratamentos (Figuras 3, 4, 5 e 6).

As épocas de avaliação implicaram em coletas de solo em dois períodos:

- Período menos chuvoso (Novembro/2010), antes do plantio do milho.
- Período mais chuvoso (Maio/2011), após a colheita do milho.

As amostras de solo foram coletadas nas linhas e entrelinhas de plantio, sendo retiradas cinco amostras simples para formar uma amostra composta. As amostras para análises biológicas foram mantidas sob refrigeração até a execução das análises laboratoriais.



FIGURA 3: Detalhe da capoeira de aproximadamente 20 anos. (Foto: Luis Wagner Rodrigues Alves, 2010).



FIGURA 4: Aspecto geral: soja no centro, milho a esquerda e arroz à direita. (Foto: Luis Wagner Rodrigues Alves, 2010).



FIGURA 5: Detalhe do tratamento PC após a colheita do milho. (Foto: Patrícia Maia, 2011).



FIGURA 6: Detalhe do tratamento PD1 após a colheita do milho. (Foto: Patrícia Maia, 2011).

2.2.3 ANÁLISES DE SOLO

2.2.3.1 Análises químicas e físicas

Para efeito de caracterização química e física do solo realizou-se análises químicas e físicas do solo. As análises químicas e físicas (Tabela 3) foram: pH em água e em solução de KCl, cálcio, magnésio e alumínio trocáveis, extraído com KCl 1 N e determinado por titulação com EDTA 0,025 N; o potássio por fotometria de chama; matéria orgânica (MO) e P determinados por colorimetria (RAIJ et al., 2001).

De posse dos resultados obtidos das análises químicas foram calculadas a soma de bases trocáveis (SB), a capacidade de troca catiônica total (CTC) e as saturações por bases (V%) e por alumínio (M%). A textura do solo foi determinada conforme Embrapa (2009). A caracterização química e granulométrica dos solos antes do plantio do milho está representada na Tabela 3.

TABELA 3: Atributos dos solos antes do plantio do milho, em 2010.

Profundidade	pH ¹	MO g dm ⁻³	P ² mg dm ⁻³	Al ³⁺	H+Al mmol _c dm ⁻³	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	V %	M	Areia g kg ⁻¹	Arg.
PD1												
0-0,05 m	5,3	39,6	16,2	1,5	52,6	3,4	28,4	6,1	41,9	3,9	45	615
0,05-0,10 m	5	29	13,3	2,7	50,5	1,1	18,2	11	37,5	8,1	43	638
0,10-0,20 m	4,8	26,9	7,5	3,6	51,5	1	17	5,6	31,5	13,1	47	705
PD2												
0-0,05 m	5,4	43,4	15,2	1,1	49,5	4,5	33,2	13,6	50,9	2,2	43	570
0,05-0,10 m	5,6	35,8	17,3	1,9	54,3	1,8	24,2	8,1	38,6	5,2	43	590
0,10-0,20 m	5,1	32,1	8,1	1,4	52,7	1,5	23,8	5,1	36,6	4,4	41	670
PD3												
0-0,05 m	5,4	44,6	9,8	1,1	49,1	2,7	29,8	7	44,6	2,8	45	619
0,05-0,10 m	5,3	36,7	16,4	1,9	57,1	1,4	27,5	6,1	38	5,2	46	610
0,10-0,20 m	5,1	31,7	7,6	2,2	54,9	3,8	23,4	4,8	36,9	6,4	42	700
PC												
0-0,05 m	5,6	44,1	14,1	1,4	56,3	4	36,3	10	47,2	2,7	47	600
0,05-0,10 m	5,4	36,7	11,9	1,1	49,9	1,7	32,2	8,9	46,1	2,6	43	670
0,10-0,20 m	5,2	36,4	7,2	2	45,3	1,5	26,1	8,2	44,1	5,4	38	690
FS												
0-0,05 m	5,8	75	1,2	1,3	62,5	1,3	54,6	16,9	53,8	1,7	53	660
0,05-0,10 m	5,2	52,6	0,6	2,8	58,5	0,8	23	8	35,2	8,1	49	667
0,10-0,20 m	5	37,7	0,4	3,8	53,9	0,6	17,2	4,9	29,6	14,4	49	690

Por ocasião das colheitas mensurou-se a média da produção em kg ha⁻¹ do arroz, do milho e da soja nas safras 2009, 2010 e 2011 respectivamente, conforme a Tabela 4. Os resultados da análise estatística comparando a produção em kg/ha⁻¹ dos grãos dentro dos tratamentos foram utilizados em outros trabalhos científicos, portanto não serão divulgados neste trabalho.

TABELA 4. Produção média de grãos nos tratamentos estudados.

Tratamento	Produção (kg ha ⁻¹)		
	Ano 2009	Ano 2010	Ano 2011
PD1	2.734,9	6.036,3	3.077,0
PD2	2.761,2	6.128,4	3.155,0
PD3	2.731,7	5.685,9	3.190,0
PC	3.069,0	5.364,3	3.109,0

2009: Arroz, 2010: milho, 2011: soja

2.2.3.2 Determinação das características biológicas

2.2.3.2.1 Carbono da Biomassa Microbiana

As amostras de solo foram passadas em peneiras de 2 mm de malha, foram retiradas as raízes contidas nas amostras e estas acondicionadas em sacos de polietileno e armazenadas em geladeira, posteriormente retirou-se sub-amostras para as determinações microbiológicas, determinou-se a umidade em base gravimétrica, secando-se as amostras em estufa a 100 °C por 24 horas.

Para estimar o carbono da biomassa microbiana (CBM) utilizou-se o método da fumigação-extração (VANCE et al., 1987). Amostras de aproximadamente 12,5 g (peso fresco) foram acondicionadas em dessecador e submetidas à fumigação com clorofórmio livre de álcool por 24 horas, após isso foram agitadas por 30 minutos em extratos de K₂SO₄ 0,5M e posteriormente filtradas. Amostras não-fumigadas foram pesadas ao mesmo tempo das amostras fumigadas e posteriormente conservadas em geladeira até a retiradas das amostras fumigadas do dessecador para a extração no mesmo momento conforme citado anteriormente. Em seguidas os extratos foram armazenados em frascos plásticos sob congelamento até o início das análises químicas.

O CBM foi oxidado em meio ácido, com dicromato de potássio (0,4 N), sendo a determinação realizada por titulação de oxi-redução, com sulfato de ferro ferroso amoniacal (0,4 N).

Utilizou-se o coeficiente K_c de 0,26 determinado especificamente para solos da Amazônia por Feigl et al. (1995) para o cálculo do CBM. Esses autores o calcularam como a quantidade de ¹⁴C adicionado (como glicose), menos o respirado, menos o extraído antes da fumigação, e a partir destes dados foi calculado a diferença entre ¹⁴C extraído após e antes da fumigação, para finalmente ser obtido o K_c por meio da relação entre o fluxo de ¹⁴C extraível e ¹⁴C microbiano.

Em seguida os extratos foram armazenados em frascos plásticos sob congelamento até a realização as análises químicas.

Para o cálculo do CBM, utilizou-se a equação abaixo:

$$CBM = (CF - CNF) / K_c$$

Em que:

CBM = C da biomassa microbiana em µg de C por g de solo seco;

CF = quantidade de C extraído na amostra fumigada em µg de C/g de solo seco e

K_c = eficiência de extração de C.

2.2.3.2.2. Respiração basal do solo

O solo das duas amostragens (período chuvoso e menos chuvoso) foi incubado durante 10 dias para que se pudesse realizar a quantificação da respiração basal do solo (RBS), esta foi feita a partir do CO₂ produzido pela respiração dos microrganismos, seguindo a metodologia proposta por Jenkinson e Ladd (1981). O ensaio constou de um *kit* formado por um frasco plástico com capacidade de 2 L, fechado hermeticamente, contendo um copo com 30 g de solo com unidade de capacidade de campo, juntamente com um béquer contendo 10 mL de NaOH 0,5 M, sem entrar em contato direto com a amostra de solo. Utilizou-se uma unidade do *kit* sem a adição de solo, para ser utilizada como prova em branco. O CO₂ capturado pelo hidróxido de sódio foi determinado por titulação, com solução de HCl 0,5 M. Para isto, colocou-se uma alíquota de 4 mL de solução de BaCl₂ 1 M e 5 gotas de fenolftaleína, como indicador. Todas as determinações foram feitas em duplicatas e os resultados expressos com base no solo seco.

A quantidade de CO₂ liberada foi calculada pela fórmula:

$$\mu\text{g CO}_2/\text{g de solo} = \frac{(B - T) \times N \times f \times V}{AT}$$

em que:

B = mL da titulação da prova em branco;

T = mL da titulação da amostra;

N = normalidade do ácido (eq/L);

f = fator de correção do HCl 0,5 M;

V = mL de NaOH 0,5 M usado na captura do CO₂;

AT = mL da alíquota a ser titulada

2.2.3.2.3 Quociente metabólico

O quociente metabólico ($q\text{CO}_2$) foi determinado como proposto por Anderson e Domsch (1993): é a quantidade de CO₂ liberado por unidade de biomassa microbiana pelo tempo, e tem sido utilizado para estimar a eficiência do uso dos substratos pelos microrganismos do solo (ANDERSON; DOMSCH, 1993).

O cálculo $q\text{CO}_2$ da respiração basal do solo é dado pela equação: $q\text{CO}_2 = \text{RBS}/\text{C-BMS}$

Em que:

RBS = respiração basal do solo;

C-BMS = carbono da biomassa microbiana do solo.

Os resultados foram expressos em $\mu\text{g CO}_2 \mu\text{g CBM}^{-1} \text{h}^{-1}$

2.2.3.2.4 Quociente microbiano

O quociente microbiano (qMIC) foi obtido pela relação C-BMS/ C-orgânico total.

2.2.3.2.5 Nitrogênio total (NT)

Determinou-se os teores de nitrogênio total pelo método de “Kjeldhal”, conforme metodologias descritas por Tedesco et al. (1995).

2.2.3.2.6 Relação C/N

A partir dos valores determinados de C e N estabeleceram-se as relações entre carbono e nitrogênio do solo através da divisão do C pelo N.

2.3.1 Dados climatológicos

Foram utilizados dados normais de temperatura média máxima e mínima diária e de chuva total diária, pertencentes às redes de estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

2.4. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando o programa sigmaplot[®] versão 11.0. A distribuição normal e homogeneidade de variâncias para cada variável foram testados usando o Teste de Kolmogoroff-Smirnoff. Os efeitos do sistema de manejo e período de coleta sobre os atributos microbiológicos quando apresentaram distribuição normal foram submetidos a análise two-way de variância (ANOVA). Foi utilizado o teste de Tukey ($p < 0,05$) para análise do conjunto de dados com distribuição normal e variância homogênea. Para o conjunto de dados não-normais e com variância heterogênea foram aplicados testes não-paramétricos de Kruskal- Wallis ($p < 0,05$) para comparação dos tratamentos e Mann-Whitney ($p < 0,05$) para comparação de coletas.

2.5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A interação época e sistema de manejo do solo foi significativa, o CBM, o qCO_2 e o $qMic$ do solo diferiram significativamente entre os tratamentos e períodos amostrais (Tabela 5). Os diferentes sistemas de manejo do solo promoveram alterações nos indicadores de qualidade biológica estudados. Foram observados valores similares de CBM aos da área de referência na coleta 1, na profundidade 0-5 cm em todos os tratamentos com exceção do PC (Tabela 3). O maior CBM observado nos tratamentos PD1, PD2 e PD3 em relação ao PC decorre da entrada de resíduos provenientes da cobertura do solo, que contribui para a melhoria da estrutura do solo colaborando para melhor aeração e infiltração de água ocasionando, assim, maior desenvolvimento das raízes.

Jiao et al., (2006) avaliaram o CBM de diversos sistemas de manejo e também encontraram valores de CBM superiores em áreas sob PD em relação ao PC.

Na profundidade 15-20 cm no período menos chuvoso, o CBM apresentou o seguinte gradiente: $FS > PD1 = PD2 = PD3 > PC$ (Tabela 5). Em áreas sob PC, geralmente o CBM é menor, isto ocorre porque, provavelmente, nos sistemas em que há revolvimento do solo a MO torna-se mais suscetível ao ataque microbiano, o que aumenta a taxa de mineralização e a liberação de CO_2 para a atmosfera (USSIRI e LAL, 2009). Outro fator a ser observado é a quantidade de chuva precipitada nos 10 dias que antecederam as duas coletas de solo (Tabela 1), o que proporcionou diferença da umidade no solo, nos diferentes períodos amostrais. A umidade do solo no período de mais chuva contribuiu para o aumento da população microbiana, tal resultado está de acordo com os resultados encontrados por Maia, (2010) que avaliou o CBM em áreas sob PC e PD na Amazônia em diferentes períodos amostrais e observou menor CBM na área sob PC.

Em relação a respiração basal ($C-CO_2$), não houve efeito significativo de interação entre os períodos amostrais e as profundidades avaliadas. Houve efeito significativo em todas as profundidades amostradas, sendo inferior na coleta 2 quando comparada a coleta 1 (Tabela 5). Taxas de respiração mais elevadas podem ser positivas ou não dependendo de cada contexto. Para Insam e Domsch (1988), menos carbono é perdido como CO_2 pela respiração à medida que uma determinada biomassa microbiana se torna mais eficiente, e uma fração significativamente de carbono é incorporada ao CBM. Outro fator a ser considerado é que por ocasião da coleta 1, houve menor precipitação pluvial (Figura x), o que pode ter contribuído para maior estresse da população microbiana e conseqüentemente maior taxa de respiração basal. Ao contrário dos resultados observados neste estudo diversos trabalhos na Amazônia têm constatado significativo aumento da respiração basal no solo na época mais chuvosa (MAIA, 2010; MELO, 2007). Todavia a interpretação dos resultados da atividade biológica deve ser feita com critério, uma vez que elevados valores de respiração nem sempre indicam condições desejáveis: uma alta taxa de respiração pode significar, em curto prazo, liberação de nutrientes para as plantas e, em longo prazo, perda de carbono orgânico do solo para a atmosfera (DALAL, 1998).

O qCO_2 na profundidade 0-5 cm na coleta 1 foi menor na FS e maior no PC, enquanto na coleta 2, na mesma profundidade não ocorreu diferença entre os sistemas (Tabela 5). A baixa eficiência de incorporação de carbono no solo, observada no PC ocasiona maiores emissões de CO_2 , perda de carbono orgânico do solo e degradação do solo (SARMIENTO e BOTTNER, 2002). Em condições de estresse ambiental a biomassa microbiana consome mais carbono para sua manutenção o que gera maiores valores de qCO_2 (SOUZA et al., 2006). Na coleta 1 na profundidade 5-10 cm os sistemas PD1, PD2 e PD3 apresentaram menores valores de qCO_2 que o

PC (Tabela 5), indicando que nos sistemas sob PD houveram menores perdas de C, sendo os sistemas sob PD mais eficientes no uso do C, podendo haver a longo prazo maiores incrementos de C no solo (FRANCHINI et al., 2007). Para Gama-Rodrigues (2008) deve-se estimular o uso de sistemas que causem menores qCO_2 , Por ocasionarem menores perdas de CO_2 pela respiração e consequentemente maior incorporação de C a biomassa microbiana do solo.

O $qMic$ na profundidade 0-5 cm foi influenciado pelo período amostral. Apesar de os sistemas não diferirem entre si, houve diferença significativa em relação aos períodos de coleta nos sistemas com exceção do PD3 (Tabela 5). Os valores foram superiores a 1% em todos os sistemas e épocas, indicando possíveis acréscimos de C, no solo, ao longo do tempo. Tais valores estão em concordância com a porcentagem proposta por Jenkinson e Ladd (1981), que descreveram a normalidade de 1 a 4% do componente microbiano em relação ao carbono total do solo. Esta relação é um importante indicador da qualidade da matéria orgânica do solo, devido a sensibilidade em expressar as mudanças ocorridas no sistema solo, reagindo mais rapidamente que os indicadores físico- químicos (KASCHUK et al., 2009). Áreas que apresentam matéria orgânica de baixa qualidade nutricional, corroboram para o estresse da biomassa microbiana, deixando-a incapaz de utilizar o C orgânico, ocasionando a diminuição do $qMic$ (GAMA-RODRIGUES E GAMA-RODRIGUES, 2008).

TABELA 5. Carbono da biomassa microbiana, Respiração basal, Quociente metabólico e Quociente microbiano, em cinco sistemas de manejo do solo, antes (período menos chuvoso) e após (período mais chuvoso) o cultivo do milho, no Município de Paragominas-PA.

Sistemas	CBM ($\mu\text{g g solo}^{-1}$)										qCO ₂ ($\mu\text{C-CO}_2 \mu\text{C-BM h}^{-1}$)										qMIC %									
	PD1	PD2	PD3	PC	FS	PD1	PD2	PD3	PC	FS	PD1	PD2	PD3	PC	FS	PD1	PD2	PD3	PC	FS	PD1	PD2	PD3	PC	FS					
	0-5 cm																													
Coleta 1	327,0Aa	338,6 Aa	344,3 Aa	206,3Bb	394,7Aa	5,6 Aa	5,5 Aa	5,42 Aa	4,9 Aa	4,4 Aa	17,0 Aab	16,1 Aab	15,8 Aab	23,6 Aa	11,3 Ab	1,8 Bc	1,5 Bc	1,7 a	1,7Bc	1,8 Bz	15,8 Aab	12,6 Aa	7,9 Ba	6,7 Aa	3,1 Aa	4,8 Aa	2,8 a	6,1 Aa	2,5 Aa	9,3
Coleta 2	292,2Ac	393,1Aab	329,0Abo	437,2Aa	424,0 Aa	3,5 Ba	1,9 Bb	2,6Bb	3,4 Ba	1,4Bc	12,0 Aa	4,6 Ba	11,5	3,2	7,3	9,3	7,9	4,8	2,8 a	7,5 Aa	12,0 Aa	4,6 Ba	11,5	3,2	7,3	9,3	7,9	4,8	2,5	9,3
CV (%)	6,6	4,1	8,5	8,5	9,2	7,3	6,9	7,7	7,8	8,2	5,7	9,7	11,5	3,2	7,3	9,3	7,9	4,8	2,5	9,3	11,5	4,6 Ba	11,5	3,2	7,3	9,3	7,9	4,8	2,5	9,3
	5-10 cm																													
Coleta 1	314,0AV	330,3BBV	336,7B	230,9Bb	396,5 Aa	5,5 Aa	5,4 Aa	5,34A	4,7 Abo	4,4 Aa	17,4 B	16,5 B	15,9 B	20,6 Aa	11,1 V*	1,7 A	1,6	1,7	1,5	1,7	17,4 B	16,5 B	15,9 B	20,6 Aa	11,1 V*	1,7 A	1,6	1,7	1,5	1,7
Coleta 2	280,1Aa	383,2Aa	343,1a	296,0a	341,2 Aa	3,4 Ba	2,8 Ba	3,05 Ba	3,3 Ba	2,1 Bb	17,6 a	15,9 a	15,1 a	11,5 Bc	5,6 a	2,5 A	3,45 *	3,3 *	3,3 *	4,3 *	17,6 a	15,9 a	15,1 a	11,5 Bc	5,6 a	2,5 A	3,45 *	3,3 *	3,3 *	4,3 *
CV (%)	10,2	3,9	8,9	7,4	7,6	8,3	8,6	7,1	9	11,2	9,5	9,1	7,6	7,2	7,4	6,2	6,6	8,8	11,6	12,5	17,6 a	15,9 a	15,1 a	11,5 Bc	5,6 a	2,5 A	3,45 *	3,3 *	3,3 *	4,3 *
	10-15 cm																													
Coleta 1	304,7aB*	301,8aB*	305,1aB	220,0B	392,0a	5,4 Aab	5,4 Aab	5,71 Aa	4,5 Abo	4,2 Aa	17,6 B	17,8 B	18,7 AaB	20,5 Aa	10,6 V	1,8 Aa	1,6 Aa	1,7 Aa	1,4 Ba	1,7 Ba	17,6 B	17,8 B	18,7 AaB	20,5 Aa	10,6 V	1,8 Aa	1,6 Aa	1,7 Aa	1,4 Ba	1,7 Ba
Coleta 2	193,8B	200,2B	289,0aB	338,2a*	326,5aB	3,3 Ba	3,3 Ba	2,96 Ba	3,3 Ba	2,4 Bb	18,2 a	18,3 a	9,9 Bc	7,2 Bc	12,4 a	2,0 Ab	1,9 Ab	2,5 Aab	3,6 Aa	3,4 Aa	18,2 a	18,3 a	9,9 Bc	7,2 Bc	12,4 a	2,0 Ab	1,9 Ab	2,5 Aab	3,6 Aa	3,4 Aa
CV (%)	6,8	8,8	7,2	11,2	8,3	6,1	8,9	9	7,7	7,2	7,8	11,3	7,1	8,9	9,2	8,4	7,5	8,8	9,9	6,3	18,2 a	18,3 a	9,9 Bc	7,2 Bc	12,4 a	2,0 Ab	1,9 Ab	2,5 Aab	3,6 Aa	3,4 Aa
	15-20 cm																													
Coleta 1	306,3B	300,1B	304,4B	215,0V	386,3 C*	5,5 Aa	5,5 Aa	5,41 Aa	4,6 Ab	4,1 Ab	17,9 Aab	18,3 Aab	17,8 Aab	21,4 Aa	10,5 Ab	2,4 Aab	2,0 Aab	1,4 Aa	1,6 Ab	1,6 Ab	17,9 Aab	18,3 Aab	17,8 Aab	21,4 Aa	10,5 Ab	2,4 Aab	2,0 Aab	1,4 Aa	1,6 Ab	1,6 Ab
Coleta 2	221,1B	306,3aB	554,5aB*	412,6aB	204,1 B	3,3 Ba	3,0 Ba	3,42 Ba	3,2 Bab	2,5 Bb	17,7 Aa	10,7Ba	6,8 Bb	8,5 Bab	14,8 Aab	1,9 Aa	2,7 Bab	4,8 Bb	4,4 Bab	2,2 Aab	17,7 Aa	10,7Ba	6,8 Bb	8,5 Bab	14,8 Aab	1,9 Aa	2,7 Bab	4,8 Bb	4,4 Bab	2,2 Aab
CV (%)	12,4	7,5	8,9	8,5	10,3	5,2	7,9	7,4	10,6	6,7	6,2	8,4	7,1	8,6	9,4	8,3	9,8	11,4	4,8	5,7	17,7 Aa	10,7Ba	6,8 Bb	8,5 Bab	14,8 Aab	1,9 Aa	2,7 Bab	4,8 Bb	4,4 Bab	2,2 Aab

Letras minúsculas compararam as coletas e letras minúsculas compararam os sistemas pelo teste de Tukey a 5% com letras latinas. Letras minúsculas gregas compararam sistemas pelo teste de Kruskal-Wallis 5% e * compararam as coletas pelo teste de Mann-Whitney 5%. CBM = carbono da biomassa microbiana; C-CO₂ = Respiração basal; qCO₂ = Quociente metabólico; qMIC = Quociente microbiano; PD1-Plantio direto em sucessão Brachiária ruziziensis/soja; PD2-Plantio direto em sucessão Brachiária brizantha cv. platã/soja; PD3-Plantio direto em sucessão Panicum Maximum cv. massai/soja; PC plantio convencional; FS- Floresta secundária com mais de 20 anos. CV (%): coeficiente de variação.

O manejo do solo contribuiu para a redução em até mais de 100% do teor de NT, como observado na coleta 1 na profundidade 0-5 cm em que os teores de NT variaram de 3,40 na FS a 1,58 g kg⁻¹ de N no tratamento PD1 (Tabela 6). Esses valores estão abaixo do teor médio de nitrogênio (3,8 g kg⁻¹) obtido por Santos (2007) ao avaliar um solo sob plantio direto. Na profundidade de 5-10 cm foram observados maiores teores de NT após a colheita do milho em relação a amostragem antes da colheita do milho, com exceção do PD1 que não diferiu entre os períodos de coleta (Tabela 6). De maneira geral em todas as profundidades e nas duas épocas amostrais o teor de NT na FS foi superior aos sistemas de manejo. Em média a diminuição dos teores de NT nas áreas cultivadas foi superior a 30% quando comparadas a área de referência, estando estes resultados próximos aos encontrados por Santos et al (2004), que pesquisaram o NT de um solo sob diferentes sistemas de manejo e obtiveram perdas próximas a 40% em relação ao sistema natural.

Observou-se que em todas as profundidades os sistemas avaliados apresentaram maiores teores de COT na coleta 1 em comparação a coleta 2 (Tabela 6). Na profundidade 0-5 cm, no período menos chuvoso o COT foi inferior no PC quando comparado ao PD1, PD2 e PD3 o que mostra que a presença de material orgânico, aliada ao não revolvimento do solo e à rotação de culturas, pode acumular C no perfil do solo. Quando comparados PC e PD, geralmente o teor de

COT no PC é menor na camada superficial, tendenciando a ser mais uniforme no em profundidade, uma das razões para que isso ocorra é a presença da cobertura morta no PD que contribui para o aumento da MO no solo (USSIRI e LAL, 2009). Os valores médios de COT na profundidade 5-10 cm nos tratamentos sob plantio direto variaram entre 17,8 a 20,6 (g kg^{-1}) (Tabela 6). Estes valores estão de acordo com os obtidos por Guareschi et al, (2012) que estudaram diferentes sistemas de manejo e obtiveram para o plantio direto com 3 anos de implantação valores próximos aos deste estudo. Ao avaliarem o COT em um Latossolo Vermelho cultivado a quatro anos, sob diferentes sistemas de manejo Wendling et al, (2005) encontraram diminuição significativa nos teores de COT no PC em comparação a preparos conservacionistas, o que verificou-se também neste trabalho.

Quanto à relação C/N, os maiores valores foram observados no PD3 (14,31 g kg^{-1}) na profundidade 15-20 cm, na coleta 1 (Tabela 6), Todavia a menor relação C/N foi observada na profundidade 0-5 cm na FS (1,32 g kg^{-1}) na coleta após a colheita do milho (coleta 2). Ao contrário dos teores de C no solo, os teores de N nos períodos de menos chuva podem ter aumento, devido principalmente a maior atividade microbiana. Os resultados obtidos neste estudo são contrários aos de Campos et al., (2013), que avaliaram a relação C/N em diferentes sistemas e obtiveram de maneira geral maiores relações C/N no período chuvoso. Guareschi et al (2012) estudando sistemas de plantio direto com diferentes idades, observaram menores valores nos sistemas com pouco tempo de implantação, havendo aumento em função do tempo de implantação do PD.

2.6 CONCLUSÕES

O sistema de plantio convencional contribuiu para a redução do carbono da biomassa microbiana em todas as profundidades amostradas antes do plantio do milho consequentemente foram obtidos maiores valores para o quociente microbiano neste sistema de manejo do solo.

A substituição da floresta secundária por áreas manejadas reduziu os teores de nitrogênio total.

REFERÊNCIAS

ANDERSON, T.H.; DOMSCH, K.H. The metabolic quotient for CO₂ (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology Biochemistry**, v.25, p.393-395, 1993.

CAMPOS, L.P.; LEITE, L.F.C.; MACIEL, G.A.; BRASIL, E.L.; IWATA, B.F. Estoques e frações de carbono orgânico em Latossolo Amarelo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.48 n. 3, p. 304-3012, 2013.

DALAL, R.C. Soil microbial biomass – what do the numbers really mean? **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v.38, p.649-665, 1998.

DIEKOW, J.; MIELNICZUK, J.; KNICKER, H.; BAYER, C.; DICK, D.P. & KÖGEL-KNABNER, I. Soil C and N stocks as affected by cropping systems and nitrogen fertilization in a Southern Brazil Acrisol managed under no-tillage for 17 years. **Soil Tillage Research**, v. 81, p.:87-95, 2005a.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2.ed. Brasília, Informação Tecnológica, 2009. 628p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília - DF, 2013, 3 ed. 353 p.

FEIGL, B. J.; STEUDLER, P. A.; CERRI, C. C. Effects of pasture introduction on soil CO₂ emissions during the dry season in the state of Rondônia, Brazil. **Biogeochemistry**. v.31, p.1-14, 1995.

FRANCHINI, J.; CRISPINO, C.; SOUZA, R.; TORRES, E.; HUNGRIA, M. Microbiological parameters as indicators of soil quality under various soil management and crop rotation systems in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 92, n. 1, p. 18-29, 2007.

GAMA-RODRIGUES, E.F.; GAMA-RODRIGUES, A.C. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O., eds. **Fundamentos da matéria orgânica do solo ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2.ed. Porto Alegre, Metrópole, 2008. p.159-170.

GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A. Deposição de resíduos vegetais, matéria orgânica leve, estoques de Carbono e Nitrogênio e Fósforo remanescente sob diferentes sistemas de manejo no cerrado Goiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n.3 , p. 909-920, 2012.

INSAM, H.; DOMSCH, K. H. Relationship between soil organic carbon and microbial biomass on chronosequences of reclamation sites. **Microbial Ecology**, v. 15, n. 4, p. 177-188, 1988.

JENKINSON, D.S & LADD, J.N. Microbial biomass in soil: Measurement and turnover. In: PAUL, E.A.; LADD, J.M. eds. **Soil biochemistry**, New York, Marcel Decker, v.5. p.415-471. 1981.

JIAO, Y.; WHALEN, J. K.; HENDERSHOT, W. H. No-tillage and manure applications increase aggregation and improve nutrient retention in a sandy-loam soil. *Geoderma*, v.134, n.1, p.24-33, 2006.

KASCHUK, G.; ALBERTON, O.; HUNGRIA, M. Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability. *Soil Biology & Biochemistry*, v. 42, n. 1, p. 1-13, January, 2009.

LAL, R. Sequestering atmospheric carbon dioxide. *Critical Reviews in Plant Science*, v. 28 p. 90-96, 2009.

LOURENTE, E. R. P.; MERCANTE, F. M.; ALOVISI, A. M. T.; GOMES, S. F.; GASPARINE, A. S.; NUNES, C. M. Atributos microbiológicos, químicos e físicos de solo sob diferentes sistemas de manejo e condições de cerrado. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 20-28, 2011.

MAIA, P.R. **Rebrota do sorgo e atributos biológicos em função da adubação potássica e sistemas de manejo e persistência da palhada no solo da Amazônia Oriental.** Belém. 91p. Dissertação de mestrado em agronomia – Universidade Federal Rural da Amazônia. 2010.

MARSCHNER, B.; BRODOWSKI, S.; DREVES, A.; GLEIXNER, G.; GUDE, A.; GROOTES, P.M.; HAMER, U.; HEIM, A.; JANDI, G.; JI, R.; KAISER, K.; KALBITZ, K.; KRAMER, C.; LEINWEBER, P.; RETHEMEYER, J.; ASCHÄFFER, A.; SCHMIDT, M.W.I.; SCHWARK, L.; WIESENBERG, G.L.B. How relevant is recalcitrance for the stabilization of organic matter in soils? *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, v.171, p.91-110, 2008.

MELO, V.S. **Avaliação da qualidade dos solos em sistemas de floresta-capoeira-pastagem na Amazônia Oriental por meio de indicadores de sustentabilidade microbiológicos e bioquímicos.** Belém, 120p. Tese de Doutorado – Universidade Federal Rural da Amazônia, 2007.

RAIJ, B. Van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais.** Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285 p.

RODRIGUES, T.E.; SILVA, R.C.; SILVA, J.M.L.; OLIVEIRA JÚNIOR, R.C.; GAMA, J.R.N.F.; VALENTE, M.A. 2003. **Caracterização e classificação dos solos do município de Paragominas, Estado do Pará.** Belém: Embrapa Amazônia Oriental. 51p. (Documentos 162).

SANTOS, E. dos. **Carbono, nitrogênio e relação C/N em Gleissolo e cambissolo sob diferentes tipologias vegetais na área de ocorrência da floresta ombrófila densa, Antonina – PR.** 2007. 104f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

SANTOS, V.B.; CASTILHOS, D.D.; CASTILHOS, R.V.; PAULETTO, E.A.; GOMES, A.S.; SILVA, D.G. Biomassa, atividade microbiana e teores de carbono e nitrogênio totais de um Planossolo sob diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Agrociências*, Pelotas, v. 10, n. 3, p. 333-338, 2004.

SARMIENTO, L.; BOTTFNER, P. Carbon and nitrogen dynamics in two soils with different fallow times in the high tropical Andes: indications for fertility restoration. *Applied Soil Ecology*, Amsterdam, v. 19, n. 1, p. 79-89, 2002.

SCHNITZER, M.; MONREAL, C. M. Quo vadis soil organic matter research?: a biological link to the chemistry of humification. **Advances in Agronomy**, v. 113, p. 139–213, 2011.

SOUZA, E.D.; CARNEIRO, M.A.C.; PAULINO, H.B.; SILVA, C.A. & BUZETTI, S. 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**, Maringá, v. 28, n. 3, p. 323-329, 2006.

SPARLING, G.P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. **Australian Journal of Soil Research**, v.30, p.195-207, 1992.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI C.A. et al. **Análises de Solos, plantas e outros materiais**. 2 ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 174p. 1995 (Boletim Técnico 5).

USSIRI, D. A. N.; LAL, R. Long-term tillage effects on soil carbon storage and carbon dioxide emissions in continuous corn cropping system from an alfisol in Ohio. **Soil & Tillage Research**, v.104, n.1, p.39-47, 2009.

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

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

3. CARBONO E NITROGÊNIO DO SOLO EM DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO NO MUNICÍPIO DE PARAGOMINAS-PA

RESUMO

O fracionamento do carbono orgânico tem sido utilizado como indicador das alterações no sistema solo ocasionadas pelas mudanças no sistema de uso e manejo. O objetivo foi determinar as frações do carbono orgânico e nitrogênio total do solo (fração leve livre, fração leve oclusa e a fração pesada) em solos sob plantio direto (PD), com diferentes sistemas de rotação de culturas, após o cultivo do milho. O estudo foi realizado no município de Paragominas-PA, utilizando delineamento experimental em blocos casualizados, em esquema fatorial 4 x 4, com três repetições. Os fatores foram quatro sistemas de uso do solo (três sistemas de plantio direto e floresta secundária como referência). As amostras de solo foram coletadas nas profundidades: 0-5, 5-10, 10-20 e 0-20 cm. O carbono orgânico do solo foi fracionado granulometricamente. Em todas as profundidades foram observados menores estoques de carbono nos tratamentos sob PD que na floresta secundária. O nitrogênio da fração orgânica pesada foi superior a 85% em todas as profundidades. Esses resultados ratificam a importância das frações físicas do carbono orgânico do solo, como uma ferramenta indicadora das mudanças nos sistemas de uso e cultivo do solo.

Palavras-chave: Fracionamento físico orgânico do solo, Latossolo, plantio direto, qualidade do solo, Amazônia.

ABSTRACT

Fractionation of organic carbon has been used as an indicator of changes in the soil caused by changes in land use and management system. The objective was to determine the fractions of organic carbon and total nitrogen in the soil (free light fraction, occluded light fraction and the heavy fraction) in soils under tillage (PD), with different systems of crop rotation after maize cultivation. The study was conducted in the city of Paragominas-PA, using an experimental design of randomized blocks, factorial 4 x 4 with three replications. The factors were four systems of land use (three tillage systems and secondary forest as a reference). Soil samples were collected at 0-5, 5-10, 10-20 and 0-20 cm depth. The soil organic carbon was fractionated granulometrically. At all depths smaller carbon stocks were found in the treatments under PD than in secondary forest. Nitrogen heavy organic fraction was greater than 85% at all depths. These results confirm the importance of physical fractions of soil organic carbon, as an indicator of changes in tool use and soil cultivation systems.

Keywords: Physical fractionation of soil organic Oxisol, tillage, soil quality, Amazon.

3.1. INTRODUÇÃO

A substituição de florestas por sistemas de cultivo, bem como a utilização de sistemas de manejo alteram os atributos físicos, químicos e biológicos do solo. A conversão de floresta nativa em áreas agrícolas é acompanhada por um decréscimo no carbono orgânico do solo (COS) e quebra de sua estrutura (PASSOS et al., 2007). Além disso, ocorre efeito negativo na concentração de nutrientes, armazenamento de água e aumento da emissão de gases do efeito estufa.

O sistema de plantio convencional (PC) que se caracteriza pelo revolvimento do solo e incorporação dos resíduos da cultura anterior tem causado sérios danos ao solo, como, aumento da densidade do solo, erosão, redução do COS e da fertilidade do solo. Para amenizar os impactos do PC tem se utilizado o sistema de plantio direto (PD), que se caracteriza pelo não revolvimento e cobertura permanente do solo, devido a deposição dos resíduos das culturas na superfície do solo (TEIXEIRA et al., 2014).

No PD, devido ao não revolvimento, o COS e o N tende a se acumular, causando uma série de alterações como aumento da porosidade do solo, redução da erosão e aumento da fertilidade. Porém, para que esse COS realmente se acumule é necessário que sua taxa de entrada seja superior à sua taxa de decomposição. Então, devem-se buscar esquemas de rotação de culturas que favoreçam a elevada produção de palhada e acumulação no solo. A implantação de sistemas de manejo conservacionistas, que tem como princípio a manutenção de cobertura vegetal e seus resíduos sobre o solo é uma das estratégias eficazes para aumentar a sustentabilidade dos sistemas agrícolas nas regiões tropicais e subtropicais (CAIRES et al., 2006). Diversos estudos comprovam que o PD, pode apresentar variações nas taxas de estoque de carbono e nitrogênio, quando diferentes coberturas vegetais são utilizadas para a produção de palhada, melhorando assim a qualidade do solo (AYOUBI et al., 2012; BEHESHTI; RAIESI; GOLCHIN, 2012). A diversificação das culturas no PD em relação ao tipo de cobertura tem elevada influência sobre as características biológicas do solo (BAYER, 2006; CARNEIRO et al, 2008; RANGEL et al, 2007).

O COS é um dos muitos indicadores de qualidade do solo que podem ser influenciados pelas diversas práticas de manejo do solo, além de interagir com atributos químicos, físicos e biológicos do solo (SOUSA et al., 2012). Para melhor entender as alterações no sistema solo é necessário fracionar o COS, pois o uso e cultivo do solo não somente influencia a quantidade de COS, mas também sua distribuição nas frações físicas e nos processos de proteção. O conhecimento do COS em frações físicas e químicas pode ajudar a avaliar o efeito do uso do solo no estoque e conservação do COS e na estabilidade dos agregados (AYOUBI et al., 2012).

Avaliações sobre em quais compartimentos o carbono está sendo acumulado têm sido feitos também através do fracionamento físico da matéria orgânica do solo (MOS), que pode ser

granulométrico, densimétrico ou uma mistura de ambas. Técnicas de fracionamento físico consistem no fracionamento granulométrico e densimétrico que enfatizam o papel das frações físicas (minerais do solo e agregados) na estabilização e acumulação do COS. Esses métodos são considerados menos destrutivos do que o fracionamento químico e esperam-se resultados que representem melhor a estrutura e a função do COS (AYOUBI et al., 2012).

O método densimétrico consiste em separar as frações por sua densidade, através de flotação. Frações menos densas estão menos associadas a minerais e são denominadas frações leves, sendo subdivididas em fração leve livre e oclusa; a fração mais densa é denominada fração pesada e abrange as partículas orgânicas mais intimamente associadas a minerais (ROSCOE; MACHADO, 2002). O fracionamento granulométrico pode ser mais recomendado devido ao fracionamento densimétrico utilizar soluções que podem alterar quimicamente as frações do COS. O fracionamento físico granulométrico permite a separação do COS em compartimentos de diferentes composições, podendo identificar a fração mais sensível para detectar alterações no COS a partir de mudanças no uso ou manejo do solo. Entre as diferentes frações do COS, aquelas associadas à fração areia e matéria orgânica particulada, apresentam alterações precoces no COS resultante das mudanças no uso e manejo do solo (VON LÜTZOW et al., 2007; BEHESHTI; RAJESI; GOLCHIN, 2012).

O fracionamento físico da MOS busca identificar a fração em que o carbono está armazenado, o que reflete a prática de manejo a que o solo foi submetido (FREIXO et al, 2002). A MOS tem diferentes tempos de reciclagem e diferentes formas de proteção, constituindo frações lábeis e estáveis. Devido estar localizada em diferentes compartimentos, o que a torna mais ou menos disponível. Alterações nesses compartimentos causam mudanças na estrutura do solo e na sua capacidade de reter carbono atmosférico (RANGEL E SILVA, 2007). A fração leve da MO está intimamente ligada ao aporte de nutrientes no sistema e a sua permanência no sistema relaciona-se diretamente ao tipo de cobertura vegetal e sua qualidade (RANGEL-VASCONCELOS et al., 2012).

Estudos têm avaliado a influência dos sistemas de cultivo no COS, mas existem poucos direcionando a avaliação para a influência desses cultivos nas frações do COS e, principalmente, avaliando a influência dos sistemas de rotação de culturas no SPD na região norte do Brasil.

A *Brachiária brizantha* cv 13RS Piatã é uma planta apropriada para solos de média/alta fertilidade, tolera solos mal drenados, produz forragem de boa qualidade e acumulação de folhas. possui colmos finos o que resulta em maior rapidez de decomposição e destaca-se pelo elevado valor nutritivo e alta taxa de crescimento e rebrota. O *panicum* cultivar Massai é resultante do cruzamento entre *Panicum maximum* x *Panicum infestum*. É uma planta que cresce formando touceiras com altura média de 60 cm. Possui excelente produção de forragem com grande velocidade de estabelecimento e de rebrota com boa resistência ao fogo. Quando comparada a

outras cultivares de *Panicum* o capim Massai apresenta-se mais adaptado as condições de baixa fertilidade do solo, com boa resistência ao ataque da cigarrinha-das-pastagens (VASCONCELOS et al., 2009).

O objetivo da presente pesquisa foi avaliar os impactos dos sistemas de manejo do solo sobre as frações do carbono e do N da MOS (fração leve livre, fração leve oclusa, fração pesada), e seus respectivos estoques em três tipos de plantio direto com diferentes sistemas de rotação de culturas e coberturas, após o cultivo da cultura principal, visando contribuir para o aumento de informações sobre quais os sistemas de manejo a serem adotados na região do Nordeste paraense.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado no campo experimental da Embrapa, em Paragominas, Nordeste do Estado do Pará, cujas coordenadas geográficas são: 02° 51' 54" S e 48° 23' 40" W e altitude de 88 m. A área experimental fica localizada as margens da rodovia PA – 125.

O solo da região foi classificado como Latossolo Amarelo Distrófico (EMBRAPA, 2013). O relevo da área de estudo é plano e condiz com o relevo predominante da região que varia de plano a suave ondulado (RODRIGUES et al., 2003).

O clima da área estudada é do tipo Aw, segundo a classificação de Köppen. A temperatura média anual varia entre 23,3°C a 27,3°C (Figura 6) e a umidade relativa do ar apresenta média anual de 81%.

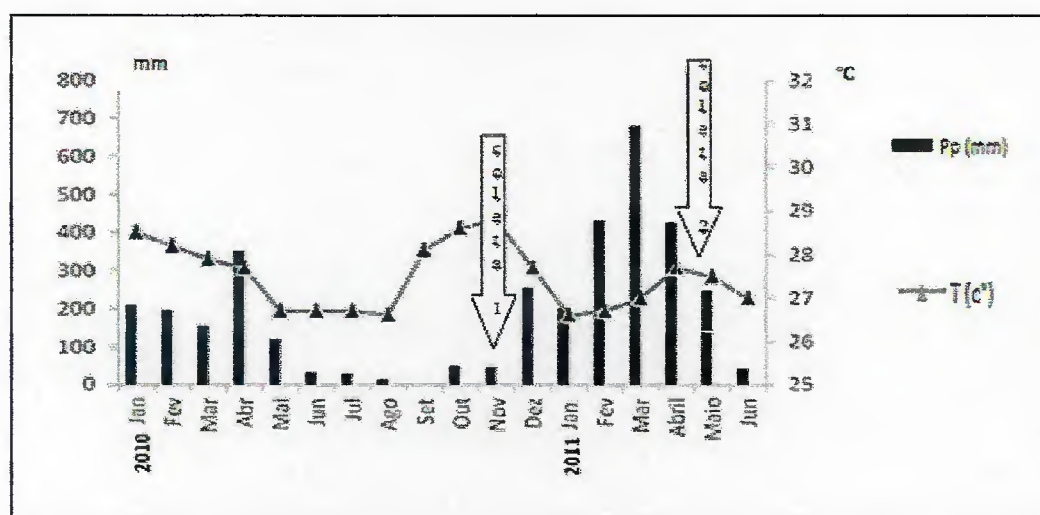


FIGURA 6: Média de precipitação pluvial e temperatura média do ar, durante o período experimental (2010-2011), em Paragominas-PA (Fonte: INMET)

A precipitação pluvial varia anualmente entre 1.890,1 a 2.430,0 mm com déficit entre os meses de agosto a outubro (MARTORANO, 2011). Na Figura 6, são apresentadas as médias mensais de variações de precipitação pluvial (Pp) e temperatura média do ar (T), durante o período experimental. Os dados climáticos foram obtidos junto ao INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), foram utilizados dados normais de temperatura média mensal máxima e mínima e de chuva total mensal.

3.2.2 EXPERIMENTO DE CAMPO

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial de 3x4, com três repetições. Os fatores foram quatro sistemas de uso do solo, sendo três plantios direto (PD), em esquema de rotação variado (Tabela 7), e uma área de floresta secundária (FS) com cerca de 20 anos e três profundidades de coletas de amostras de solos (0-5, 5-10 e 10-20 cm).

TABELA 7: Histórico de sucessões de culturas nos tratamentos avaliados.

Ano	2008	2009	2010	2011
Tratamento	P ¹	P ¹ /CB ²	P ¹ /CB ²	P ¹
PD1	Soja	Arroz/Milheto	Milho/Ruziziensis	Soja
PD2	Soja	Arroz/Quicuío	Milho/Piatã	Soja
PD3	Soja	Arroz/Pousio	Milho/Massai	Soja
FS	FS	FS	FS	FS

¹- Cultura principal, ²- Planta de cobertura.

Antes do início do experimento, em 2008, toda a área foi preparada de forma convencional (aração e gradagens). Assim o plantio foi efetuado em quatro safras, sendo um plantio convencional no ano 2008 e três safras subseqüentes (2009, 2010 e 2011) nos sistemas de plantio direto. As culturas se sucederam no tempo e no espaço, conforme planejamento de quatro anos (Tabela 7).

O planejamento de adubação e manejo do experimento ocorreram da seguinte forma: cultura do arroz – espaçamento de 0,22 m entre linhas com 50 plantas/m e adubação com 250 kg ha⁻¹ da fórmula NPK: 10-28-20 e 100 kg ha⁻¹ de uréia em cobertura. Aplicação do herbicida Ronstar (oxadiazon) na dose de 2,5 L ha⁻¹ em pós-emergência inicial de plantas daninhas; cultura do milho – espaçamento de 0,70 m entre linhas com 4,5 plantas/m e adubação com 350 kg ha⁻¹ da fórmula NPK: 10-28-20 e 200 kg ha⁻¹ de uréia em cobertura e uso de herbicidas à base de alachlor na dose de 5 L ha⁻¹ e atrazine na dose de 4 L ha⁻¹ em pós-emergência inicial das plantas daninhas; cultura da soja – espaçamento de 0,45 m entre linhas com 12 plantas/m linear e adubação com 350 kg ha⁻¹ da

fórmula NPK: 04-20-20 e quatro doses por hectare de inoculante (*Bradyrhizobium japonicum*) com veículo turfoso e aplicação do herbicida Imazethapyr na dose de 1,0 L ha⁻¹ em pós emergência precoce das plantas daninhas.

As parcelas apresentaram a dimensão de 0,03 ha (30 x 10 m). A coleta do solo foi realizada após a colheita do milho, em maio de 2011. As amostras de solo foram coletadas nas linhas e entrelinhas de plantio, sendo retiradas cinco amostras simples para formar uma amostra composta.

As amostras indeformadas foram coletadas em anéis volumétricos de 5cm de diâmetro por 5cm da altura para a determinação da densidade do solo, conforme Embrapa (2013). Utilizou-se a densidade do para o cálculo dos estoques de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT). As amostras deformadas foram secas à sombra, destorroadas manualmente, peneiradas em malha de diâmetro <8,00 mm e divididas em duas partes: a primeira, macerada em almofariz de ágata para a determinação de COT, a segunda foi destinada ao fracionamento físico granulométrico e densimétrico sendo as amostras passadas em peneira de diâmetro de 2,00 mm e moídas.

3.2.3 ANÁLISES DE SOLO

As análises de solo foram realizadas de acordo com a metodologia descrita em Embrapa (2009). As análises químicas e físicas foram: pH em água e em solução de KCl, cálcio, magnésio e alumínio trocáveis, extraído com KCl 1 N e determinado por titulação com EDTA 0,025 N; potássio e fósforo disponível, extraído com solução de Mehlich⁻¹ e o P por colorimetria (RAIJ et al., 2001). De posse dos resultados obtidos das análises químicas foram calculadas a soma de bases trocáveis (SB), a capacidade de troca catiônica total (CTC), a saturação por bases (V%) e por alumínio (m%) (Tabela 8).

TABELA 8: Atributos dos solos antes do plantio do milho, em 2010.

Profundidade	pH ¹	MO	P ²	Al ³⁺	H+Al	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	V	M	Areia	Arg.
		g dm ⁻³	mg dm ⁻³	----- mmol _c dm ⁻³ -----					--- % ---		-- g kg ⁻¹ --	
PD1												
0-0,05 m	5,3	39,6	16,2	1,5	52,6	3,4	28,4	6,1	41,9	3,9	45	615
0,05-0,10 m	5	29	13,3	2,7	50,5	1,1	18,2	11	37,5	8,1	43	638
0,10-0,20 m	4,8	26,9	7,5	3,6	51,5	1	17	5,6	31,5	13,1	47	705
PD2												
0-0,05 m	5,4	43,4	15,2	1,1	49,5	4,5	33,2	13,6	50,9	2,2	43	570
0,05-0,10 m	5,6	35,8	17,3	1,9	54,3	1,8	24,2	8,1	38,6	5,2	43	590
0,10-0,20 m	5,1	32,1	8,1	1,4	52,7	1,5	23,8	5,1	36,6	4,4	41	670
PD3												
0-0,05 m	5,4	44,6	9,8	1,1	49,1	2,7	29,8	7	44,6	2,8	45	619
0,05-0,10 m	5,3	36,7	16,4	1,9	57,1	1,4	27,5	6,1	38	5,2	46	610
0,10-0,20 m	5,1	31,7	7,6	2,2	54,9	3,8	23,4	4,8	36,9	6,4	42	700
FS												
0-0,05 m	5,8	75	1,2	1,3	62,5	1,3	54,6	16,9	53,8	1,7	53	660
0,05-0,10 m	5,2	52,6	0,6	2,8	58,5	0,8	23	8	35,2	8,1	49	667
0,10-0,20 m	5	37,7	0,4	3,8	53,9	0,6	17,2	4,9	29,6	14,4	49	690

¹-Determinado em água, ²- Extraído por Mehlich-1. PD1-Plantio direto em sucessão *Brachiaria ruziziensis*/soja; PD2-Plantio direto em sucessão *Brachiaria brizantha* cv. *piatã*/soja; PD3-Plantio direto em sucessão *Panicum Maximum* cv. *massai*/soja; FS- Floresta secundária com mais de 20 anos.

A textura do solo foi determinada conforme Embrapa (2009). A caracterização química e granulométrica dos solos antes do plantio está representada na Tabela 8.

3.2.3.1 Carbono orgânico total

O fracionamento do carbono orgânico do solo foi realizado conforme metodologia de Christensen (1992). Foram pesados 20 g de terra em um frasco de 100 mL, adicionados 70 mL de água deionizada e deixado na geladeira por aproximadamente 24 h. Após isto, o frasco foi conduzido ao ultrassom (Sonics modelo VC 505 – 500 watts, frequência 20 kHz), mergulhando-se a haste do aparelho na amostra e deixando por 15 min. em amplitude de 70%. Após isso foi retirada a haste do aparelho que estava na amostra, e o solo remanescente na haste foi retirado com ajuda de pisseta. Em seguida, a amostra foi transferida para um conjunto de peneiras (peneira de 200 mesh sobre a de 270 mesh), onde se procedeu a lavagem intensa e sucessiva com água deionizada até que a água permanecesse límpida.

A fração que permaneceu na superfície da peneira superior foi transferida para cadinho, para separar a fração orgânica (fração leve livre) da fração mineral (fração pesada). Após a separação completa, cada fração foi transferida para uma forma de alumínio identificada. A fração que ficou retida na peneira de 270 mesh (fração leve oclusa) foi lavada com água deionizada e transferida para outra forma de alumínio identificada. A fração que passou pela peneira de 270 mesh (fração silte+argila) ficou no vasilhame de vidro identificado. Logo após, essas frações foram levadas à estufa, onde ficaram a uma temperatura aproximada de 45 °C. Após a completa secagem foram macerados e tiveram seus teores de C e N determinados pelo método de combustão (via seca) em aparelho analisador elementar (Thermo Flash EA 1112 Séries).

Para determinação do carbono orgânico total e nitrogênio total do solo e das frações, e do carbono do carvão foi realizada a moagem de amostras de TFSA em gral de Ágata e peneiramento em malha 60 mesh. A quantificação foi realizada por combustão via seca em analisador elementar (LECO, modelo CNS 2000).

3.2.3.2 Estoque de carbono e nitrogênio nas frações do solo

O estoque de carbono e nitrogênio do solo e das frações foi estimado pelo método da massa de solo equivalente (ELLERT; BETTANY, 1995), onde se utiliza como referência, a massa de solo de uma camada padrão de um tratamento que representa condições mais próximas de um ecossistema natural. Neste estudo, a massa de solo utilizada como referência foi da floresta

secundária. Para que pudesse ser realizado o cálculo dos estoques de C e N, realizou-se a análise de densidade do solo segundo Blake e Hartge (1986).

O estoque de C foi encontrado a partir da expressão:

$$\text{EstC} = (\text{CO} \times \text{Ds} \times e)/10,$$

Em que EstC é o estoque de C orgânico em determinada profundidade (Mg ha^{-1}); CO é o teor de C orgânico total (g kg^{-1}); Ds é a densidade média da profundidade (kg dm^{-3}), determinada a partir de amostras indeformadas, e é a espessura da camada considerada (cm).

Para o cálculo do estoque de N, substituiu-se o valor de CO pelo valor de N. Segundo a fórmula abaixo:

$$\text{EstN} = (\text{N} \times \text{Ds} \times e)/10$$

3.2.3.3 Densidade do solo

A densidade do solo, das amostras das profundidades estudadas, foi determinada pelo método do anel volumétrico (BLAKE, 1965).

3.4 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Utilizou-se o programa sigmaplot[®] versão 11.0, escolheu-se o programa sigmaplot[®] devido a facilidade em seu manuseio. Onde os dados obtidos foram submetidos à análise de variância ($p \leq 0,05$), para testar o efeito dos tratamentos no estoque de carbono e nitrogênio no solo e nas frações da matéria orgânica. Os dados do carbono não se ajustaram a normalidade, utilizou-se então o teste não paramétrico, para a comparação das médias do C aplicou-se o teste Kruskal Wallis ($p \leq 0,05$).

Para os dados de N quando necessário, foram transformados (\log_{10} e raiz quadrada) para atender aos requisitos de normalidade da distribuição e homogeneidade das variâncias. Os resultados, no entanto, foram apresentados com média e erro-padrão originais. Para comparação das médias, aplicou-se o teste Tukey ($p \leq 0,05$) para o N.

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.5.1 FRACIONAMENTO DO CARBONO DO SOLO

A densidade do solo sofreu pouca variação dentro dos tratamentos avaliados. A densidade do solo variou de 1,15 a 1,27 g/cm^3 . A maior média de densidade foi observada no PD2 na profundidade de 0-5 cm (Tabela 9).

TABELA 9. Densidade do solo em um Latossolo Amarelo sob sistemas de plantio no Nordeste Paraense.

Profundidade	Densidade do solo (g/cm^3)			
	PD1 (dp)	PD2 (dp)	PD3 (dp)	FS (dp)
0-5	1,20 ($\pm 0,03$)	1,23 ($\pm 0,03$)	1,15 ($\pm 0,09$)	1,23 ($\pm 0,03$)
5-10	1,24 ($\pm 0,02$)	1,27 ($\pm 0,03$)	1,19 ($\pm 0,03$)	1,21 ($\pm 0,02$)
10-20	1,22 ($\pm 0,03$)	1,19 ($\pm 0,04$)	1,23 ($\pm 0,03$)	1,24 ($\pm 0,03$)

PD1-Plantio direto em sucessão *Brachiaria ruziziensis*/soja; PD2-Plantio direto em sucessão *Brachiaria brizantha* cv. piatã/soja; PD3-Plantio direto em sucessão *Panicum Maximum* cv. massai/soja; FS – floresta secundária. dp = desvio padrão

Ao avaliar a densidade do solo cultivado com soja nos sistemas convencional e plantio direto, Carvalho (2008) encontrou valores entre 1,26 a 1,13 g/cm^3 na camada 0-10 cm para um sistema convencional de cultivo de soja e outro em plantio direto, valores estes próximos aos encontrados neste trabalho.

Os estoques das frações carbono da matéria orgânica leve livre (C_{MOLL}), carbono da matéria orgânica leve oclusa (C_{MOLO}), carbono da matéria orgânica pesada (C_{MOP}) e o carbono total (CT) à profundidade de 0–5 cm, foram inferiores ($p \leq 0,05$) nos tratamentos sob plantio direto, em comparação a floresta secundária (FS) (Tabela 10). O estoque de C_{MOLL} na profundidade de 0-20 cm do solo foi maior ($p \leq 0,05$) na FS (6,53 Mg ha^{-1}), sendo o estoque de C_{MOLL} no tratamento PD3 (3,19 Mg ha^{-1}) inferior ao estimado no PD1 (4,47 Mg ha^{-1}) (Tabela 10) a diferença nos estoques de C_{MOLL} , pode estar associada a diferença nos capins utilizados como palhada. Na literatura existem diversos trabalhos que mostram os efeitos causados pelos diferentes tipos de palhada como: Relação C/N, volume produzido de biomassa vegetal e efeitos alelopáticos (BRESSAN et al., 2013; MAIA, 2010; TEIXEIRA et al., 2014). Indicando que sistemas naturais, de baixa intervenção antrópica, possuem maior capacidade para proteger fisicamente a MO no interior de agregados. Todavia, Loss et al. (2010) avaliaram diferentes sistemas de produção em Seropédica (RJ), e observaram que a C_{MOLL} é afetada pela forma de manejo da área, e afirmaram que onde se mantém a palhada sobre a superfície do solo ocorrem aumentos nos teores de C_{MOLL} . O presente estudo também concorda com Pereira et al. (2010) que pesquisaram diferentes sistemas de manejo e também observaram que o C_{MOLL} é capaz de detectar, mais rapidamente, as mudanças nos conteúdos de C no solo associadas ao manejo.

TABELA 10. Frações do C da matéria orgânica do solo (MOS), em diferentes sistemas de manejo e profundidades do solo, no município de Paragominas-PA.

Sistemas de cultivo	C _{MOLL}	C _{MOLO}	C _{MOP}	CT
Mg ha ⁻¹				
0-5 cm				
PD1	3,60 b	0,04 b	1,46 c	5,10 b
PD2	3,31 b	0,04 b	2,95 bc	6,30 b
PD3	2,50 b	0,04 b	4,51 b	7,04 b
FS	4,90 a	0,08 a	6,39 a	11,38 a
CV(%)	8,3	9,9	8,2	10,6
5-10 cm				
PD1	0,28 b	0,28 a	0,57 b	1,13 b
PD2	0,36 b	0,36 a	0,72 b	1,44 b
PD3	0,40 b	0,40 a	0,80 b	1,60 b
FS	0,75 a	0,03 b	15,37 a	16,15 a
CV(%)	7,9	12,1	8,3	9,6
10-20 cm				
PD1	0,59 ab	0,15 a	2,95 c	3,70 b
PD2	0,42 ab	0,10 a	4,89 c	5,41 b
PD3	0,29 b	0,05 a	9,05 b	9,39 ab
FS	0,87 a	0,04 a	24,52 a	25,43 a
CV(%)	5,8	8,5	8,3	10,1
0-20 cm				
PD1	4,47 b	0,48 a	4,98 c	9,93 c
PD2	4,09 bc	0,50 a	8,57 c	16,1 b
PD3	3,19 c	0,49 a	14,36 b	18,03 b
FS	6,53 a	0,15 b	46,28 a	52,96 a
CV(%)	8,4	9,3	4,7	7,2

Letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste Kruskal-wallis $P < 0,0$. PD1-Plantio direto em sucessão *Brachiaria ruziziensis*/soja; PD2-Plantio direto em sucessão *Brachiaria brizantha* cv. *piatã*/soja; PD3-Plantio direto em sucessão *Panicum Maximum* cv. *massai*/soja; FS – floresta secundária. CMOLL= carbono da matéria orgânica leve livre, CMOLO = carbono da matéria orgânica leve oclusa, CMOP = carbono da matéria orgânica pesada, CT = carbono total

Quanto a fração C_{MOLO}, observou-se apenas na profundidade 0-5 cm estoques inferiores nos sistemas de plantio direto, quando comparados a FS. Nas profundidades 5-10 e 0-20 cm os sistemas PD1, PD2 e PD3 foram significativamente superiores em relação a FS (Tabela 10). A cobertura proporcionada pelo sistema de plantio direto ao solo proporcionou aumento do C_{MOLO} nessas áreas. Parte deste efeito decorre da maior ciclagem dos resíduos via decomposição das gramíneas utilizadas, pois a cobertura dos sistemas sob PD apresentam maior volume de material vegetal

profundidades (Tabela 10). Os menores estoques de C_{MOP} foram observados nos tratamentos PD1, PD2 e PD3 na camada 5-10 cm (Tabela 10).

Nas profundidades 10-20 e 0-20 cm os estoques de C_{MOP} do PD3 foram superiores ao PD1 e PD2. A cobertura proporcionada pelo capim massai no PD3 pode ter influenciado direta ou indiretamente no estoque desta fração. Entretanto, Santos et al. (2011) avaliaram sistemas de manejo sob plantio direto com aproximadamente 5 anos e área de mata e não observaram diferença da fração de C_{MOP} entre os tratamentos avaliados. A fração pesada contribui para a manutenção da MO no interior dos agregados do solo através dos mecanismos de estabilização- recalcitrância, oclusão e interação da MO com os minerais do solo (NASCIMENTO et al., 2009).

Os estoques de CT na camada 0-20 cm foram influenciados pelos tratamentos. A FS apresentou mais que o dobro do CT quando comparada aos demais sistemas. Com exceção da profundidade 10-20 cm (Tabela 10) a FS foi superior em relação aos sistemas de manejo em todas as profundidades. Na camada de 0-20 cm, o maior estoque de CT foi observado na FS, sendo o estoque de carbono do PD2 e PD3 aproximadamente três vezes inferior ao estoque da FS, enquanto o PD1 foi cinco vezes menor (Tabela 10). Tal resultado evidencia que sistemas agrícolas mesmo sob plantio direto causam perdas de carbono no sistema solo, além disso, as condições climáticas da região estudada por apresentar período definido de estiagem favorece a mineralização da MO. A floresta é o local de menor perturbação de solo e, pela exuberância da vegetação, há maior aporte de matéria orgânica ao solo. (MARSCHNER et al., 2008), o que contribui para aumento do teor de C (BEHESHTI et al., 2012).

3.5.2 FRAÇÕES DO NITROGÊNIO

Os maiores valores para as frações N_{moll} na profundidade 0-5 cm foram observados nos sistemas PD1, PD2 e na FS (Tabela 11). A cobertura vegetal proporcionada pela *Brachiaria* pode ter contribuído para o aumento da fração N_{moll} nos sistemas PD1 e PD2. O capim piatã apresenta adaptabilidade a diversos tipos de solo e clima, além de proporcionar melhora nas qualidades químicas e biológicas do solo (FAGUNDES et al. 2006). O capim piatã apresenta alta taxa de crescimento foliar, alta relação folha/caule e valor nutritivo. Apresenta boa tolerância a seca e ainda produtividade, em média 9,5 toneladas de massa seca/hectare/ano, com 57% de folhas (EMBRAPA, 2005). Essas características podem ter sido o principal diferencial que contribuiu para um maior teor da fração N_{moll} quando comparado ao capim *Panicum Maximum* cv. massai, como observado na profundidade 0-20 cm (Tabela 9). A fração leve (FL) é produto de resíduos de plantas,

raízes e hifas que ainda representam estruturas celulares reconhecíveis. Devido sua sensibilidade às práticas de manejo, a determinação da FL colabora na análise da qualidade do sistema de manejo em curto prazo (RANGEL e SILVA., 2007).

TABELA 11. Frações do N da matéria orgânica do solo (MOS), em diferentes sistemas de manejo e profundidades do solo, no município de Paragominas-PA.

Sistemas de cultivo	N _{MOLL}	N _{MOLO}	N _{MOP}	NT
Mg ha ⁻¹				
0-5 cm				
PD1	0,14 a	0,03 ab	1,31 b	1,48 b
PD2	0,15 a	0,05 a	3,40 ab	1,93 ab
PD3	0,07 b	0,02 b	2,87 ab	1,80 ab
FS	0,15 a	0,04 a	2,20 a	2,23 a
CV(%)	9,4	6,3	9,9	8,7
5-10 cm				
PD1	0,01 a	0,02 a	1,17 b	1,20 b
PD2	0,01 a	0,01 a	1,07 b	1,09 b
PD3	0,01 a	0,02 a	3,53 a	3,56 a
FS	0,02 a	0,02 a	1,33 b	1,37 b
CV(%)	10,5	7,8	8,2	8,9
10-20 cm				
PD1	0,02 a	0,02 a	2,32 a	2,36 a
PD2	0,02 a	0,02 a	2,28 a	2,32 a
PD3	0,01 a	0,03 a	1,37 b	1,41 b
FS	0,03 a	0,03 a	2,15 a	2,21 a
CV(%)	8,4	5,5	8,8	9,2
0-20 cm				
PD1	0,17 ab	0,07 a	4,80 b	5,04 b
PD2	0,18 a	0,07 a	6,76 a	5,34 a
PD3	0,09 b	0,06 a	7,78 a	6,77 a
CV(%)	10,5	11,4	7,8	8,0
FS	0,21 a	0,08 a	5,68 b	5,80 ab

Letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey $P < 0,05$. PD1-Plantio direto em sucessão *Brachiaria ruziziensis*/soja; PD2-Plantio direto em sucessão *Brachiaria brizantha* cv. piatã/soja; PD3-Plantio direto em sucessão *Panicum Maximum* cv. massai/soja; FS – floresta secundária. N MOLL= nitrogênio da matéria orgânica leve livre, N MOLO = nitrogênio da matéria orgânica leve oclusa, N MOP = nitrogênio da matéria orgânica pesada, NT= nitrogênio total.

Com exceção da profundidade 0-5 cm o N_{mol} dos sistemas avaliados não diferiu em relação a FS (Tabela 11). Na profundidade 0-5 cm o N_{mol} do PD3 (0,02 Mg ha⁻¹) foi inferior a FS, O capim Massai apresenta elevada relação C/N em relação a *Brachiaria* (YAMADA e CASTRO., 2007), o

que pode ter contribuído para a diferença do N_{molo} em superfície. O N_{molo} é uma das frações mais sensíveis ao sistema de manejo do solo, podendo ser um importante indicador da sustentabilidade dos solos. (RANGEL-VASCONCELOS et al., 2012).

Em relação ao NT, na profundidade 0-20 cm observou-se menor teor de NT no tratamento PD1 quando comparado ao PD2 e a FS (Tabela 11). Isto indica que o efeito dos sistemas de manejo do solo com maior ou menor adição de carbono tem efeito na disponibilidade do NT no solo. Castilhos et al. (2004) avaliaram diferentes sistemas de manejo e observaram teores de NT no PD semelhantes a área de referência.

3.5.3 PROPORÇÕES DOS ESTOQUES DE C E N EM CADA FRAÇÃO

Na figura 7 encontram-se as proporções dos estoques de C e N em cada fração em relação ao C e ao N. Na profundidade de 0-5 cm a proporção do estoque de C a FLL nos tratamentos PD1 e PD2 (respectivamente 70 e 52% da média) representou a maior proporção do COT entre os tratamentos. Esses resultados diferem dos encontrados por Da Rosa et al. (2011), que obtiveram em diferentes sistemas de manejo em um Planossolo Háplico menores proporções de FLL (9% em média), o que pode ser justificado pela baixa relação C/N da brachiaria em relação ao massai, o que pode ter contribuído para o aumento do COT. Boeni (2007) pesquisando sobre frações da matéria orgânica em Latossolos observou proporções significativamente maiores da FLO em relação à FLL (em média 19,5 e 5,4 %, respectivamente). As maiores perdas do carbono orgânico das frações leves devem-se, provavelmente, à labilidade destas frações e à grande redução dos aportes de resíduos vegetais nos sistemas agrícolas, fatores que contribuíram para redução nos estoques de MOS.

Na profundidade 0-5 cm a FP da FS foi quase o dobro (56%) da observada no PD1 (29%) (Figura 7). Indicando que neste houve perda de C dessa fração. A não utilização agrícola da FS contribui para a manutenção da MO nessa fração, Pois não há revolvimento do solo nesta área há mais de 20 anos. Havendo proteção da matéria orgânica nos agregados, com aumento do período de interação dos argilominerais com o material particulado (SILVA et al., 2004). A FP obteve a maior média do COT (acima de 50%) nas profundidades de 5-10 e 10-20 cm em todos os tratamentos (Figura 7), sendo a mais importante para a manutenção dos estoques de carbono nesse solo. Possivelmente em decorrência do curto período de tempo de instalação dos sistemas (cinco anos). Essa fração é constituída por materiais orgânicos, fortemente ligados à fração mineral que se encontra em estágio avançado de humificação, sendo altamente estáveis, devido a sua estabilidade química, pela interação com a fração mineral e a proteção física pela sua localização no interior de micro agregados estáveis do solo, além de serem intrinsecamente recalcitrantes (MENDHAN et al., 2004). Como a MO da FP apresenta uma ciclagem lenta, faz-se necessário um período maior para

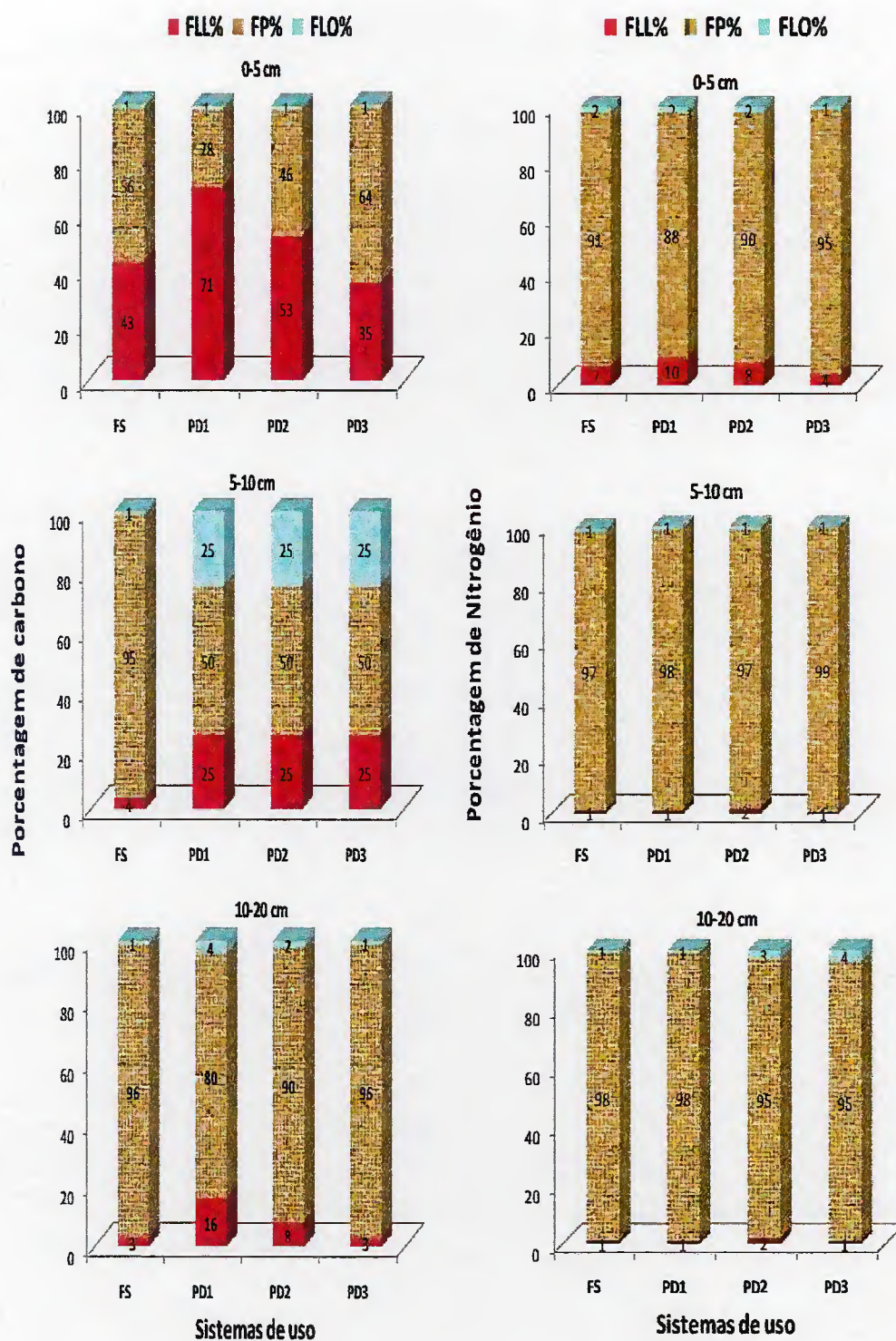


FIGURA 7: Proporção do carbono orgânico total (COT) e nitrogênio nas frações leve livre (FLL), leve oclusa (FLO) e pesada (FP) da matéria orgânica de um Latossolo Amarelo submetido a diferentes sistemas de cultivo. PD1-Plantio direto em sucessão *Brachiaria ruziziensis*/soja; PD2-Plantio direto em sucessão *Brachiaria brizantha* cv. *piatã*/soja; PD3-Plantio direto em sucessão *Panicum Maximum* cv. *massai*/soja. ; FS – floresta secundária., nas camadas 0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm do solo.

que sejam detectadas alterações, devido aos sistemas de uso do solo (BEHESHTI; RAIESI; GOLCHIN, 2012). Em relação ao N, observaram-se proporções da FP superiores a 85% em todos os tratamentos e profundidades (Figura 7). Além disto, estes resultados comprovaram a maior estabilidade da fração pesada, preservada na floresta secundária.

3.6 CONCLUSÕES

As frações do carbono orgânico foram reduzida pelo cultivo do solo no sistema de plantio direto, independente das plantas de cobertura.

Os sistemas de cultivo afetaram as proporções das frações de carbono orgânico total da matéria orgânica.

A fração leve livre mostrou-se a mais sensível aos efeitos do cultivo do solo, quando comparada aos teores totais de C.

REFERÊNCIAS

- AYOUBI, S.; KARCHEGANI, P. M.; MOSADDEGHI, M. R.; HONARJOO, N. Soil aggregation and organic carbon as affected by topography and land use change in western Iran. **Soil & Tillage Research**, v. 121, p. 18–26, 2012.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A.; DIECKOW, J. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. **Soil & Tillage Research**, v.86, n.2, p.237- 245, 2006.
- BEHESHTI, A.; RAIESI, F.; GOLCHIN, A. Soil properties, C fractions and their dynamics in land use conversion from native forests to croplands in northern Iran. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 148 p. 121– 133, 2012.
- BLAKE, G.R. Bulk density. In: BLACK, C.A., ed. Methods of soil analysis. Medison, **American Society of Agronomy**,. v.1. p.374-391, 1965.
- BOENI, M. **Proteção física da matéria orgânica em Latossolos sob sistemas com pastagens na região do Cerrado Brasileiro**. Porto Alegre, 136p. Tese de Doutorado - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007.
- BRESSAN, S.B.; NÓBREGA, J.C.A.; RAFAELA S. A. NÓBREGA, R.S.A.; BARBOSA, R.S.; SOUSA, L.B. Plantas de cobertura e qualidade química de Latossolo Amarelo sob plantio direto no cerrado maranhense. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17: p 371–378, 2013.
- CAIRES, E.F.; GARBUIO, F.J.; ALLEONI, F.; CAMBRI, M.A. Calagem superficial e cobertura de aveia-preta antecedendo os cultivos de milho e soja em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa v. 30, p.87-98, 2006.
- CALONEGO, J.C.; GIL, F.C.; ROCCO, V.F.; SANTOS, E.A. Persistência e liberação de nutrientes da palha de milho, braquiária e labe-labe. **Bioscience Journal**, v.28, p.770-781, 2012.
- CARNEIRO, M.A.C.; CORDEIRO, M.A.S.; ASSIS, P.C.R.; MORAES, E.S.; PEREIRA, H.S.; PAULINO, H.B.; SOUZA, E.D. de. 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, E.J.M; FREITAS, L.S; VELOSO, C.A.C; SOUZA, A.S; EL-HUSNY, J. C.; VALENTE, M.A.; TRINDADE, E.F.S.; LIRA, R.S. **Efeito de sistemas de manejo sobre a densidade do solo em latossolo vermelho amarelo do sudeste paraense**. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 31., 2007, Gramado. Conquistas e desafios da ciência do solo brasileira: anais. Porto Alegre: SBCS, 2007.
- CASTILHOS, D.D.; SANTOS, V.; CASTILHOS, R.; PAULETTO,E.; GOMES,A.; SILVA, D. Biomassa, atividade microbiana e teores de carbono e nitrogênio totais de um Planossolo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Agrociências Pelotas**, v. 10, n. 3, p. 333-338, 2004.

CHRISTENSEN, B.T. Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. **Advances in Soil Science**, v. 20, p.1-90, 1992.

DA ROSA, C. M.; CASTILHOS, R. M. V.; PAULETTO, E A. Content of soil organic carbon in albaqualf soil: influence of irrigated rice management. *Revista Brasileira de Ciências do Solo* vol.35 no.5, p.105-113,2011.

ELLERT, B.H.; BETTANY, J.R. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. **Canadian Journal of Soil Science**, 75:529-538, 1995.

EMBRAPA, III **Plano Diretor da Embrapa Gado de Corte: 2004-2007**. Campo Grande, MS, 2005.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2.ed. Brasília, Informação Tecnológica, 2009. 628p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília - DF, 2013, 3 ed. 353 p.

FAGUNDES, J. L.; DA FONSECA, D. M.; DE MORAES, R.V.; MISTURA,C.; VITOR, C.M.T.; GOMIDE,J.A.; DO NASCIMENTO JÚNIOR, D.; SANTOS, M.E.R.; LAMBERTUCCI, D.M . Características morfogênicas e estruturais do capim-braquiaria em pastagem adubada com nitrogênio avaliada nas quatro estações do ano. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, n.1, p.21-29, 2006.

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

LOSS, A.; MORAES, A. G. L.; PEREIRA, M. G.; SILVA, E. M. R.; ANJOS, L. H. C. Carbono, matéria orgânica leve e frações oxidáveis do carbono orgânico sob diferentes sistemas de produção orgânica. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 1, n. 1, p. 57-64, 2010.

MARSCHNER, B.; BRODOWSKI, S.; DREVES, A.; GLEIXNER, G.; GUDE, A.; GROOTES, P.M.; HAMER, U.; HEIM, A.; JANDI, G.; JI, R.; KAISER, K.; KALBITZ, K.; KRAMER, C.; LEINWEBER, P.; RETHEMEYER, J.; ASCHÄFFER, A.; SCHMIDT, M.W.I.; SCHWARK, L.; WIESENBERG, G.L.B. How relevant is recalcitrance for the stabilization of organic matter in soils? **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v.171, p.91-110, 2008.

MARTORANO, L. G.; MONTEIRO, D. C. A.; BRIENZA JUNIOR, S.; LISBOA, L. S.; ESPÍRITO SANTO, J. M.; ALMEIDA, R.F. Top-bioclimate conditions associated to natural occurrence of two Amazonian native tree species for sustainable reforestation in the State of Para, Brazil. In: VILLACAMPA, Y; BREBBIA, C. A. **Ecosystems and sustainable Development**. VIII. Ashurst Lodge: Wittpress, 2011. p.111-122.

MENDHAM, D.S.; HEAGNEY, E.C.; CORBEELS, M.; O'CONNELL, A.M.; GROVE, T.S.; McMURTRIE, R.E. Soil particulate organic matter effects on nitrogen availability after afforestation with *Eucalyptus globulus*. **Soil Biology Biochemistry**, v. 36, p.1067-1074, 2004.

NASCIMENTO, P.C.; BAYER, C.; NETTO, L.F.S.; VIAN, A.C.; VIEIRO, F.; MACEDO, V.C.M.; MARCOLIN, E. Sistemas de manejo e a matéria orgânica de solo de várzea com cultivo de arroz. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.1821-1827, 2009.

PASSOS, R.R.; RUIZ, H.A.; CANTARUTTI, R.B.; MENDONÇA, E. de S. Carbono orgânico e nitrogênio em agregados de um Latossolo Vermelho sob duas coberturas vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1109-1118, 2007.

PEREIRA, M. G.; LOSS, A.; BEUTLER, S. J.; TORRES, J. L. R. Carbono, matéria orgânica leve e fósforo remanescente em diferentes sistemas de manejo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 45, n. 5, p. 508-514, 2010.

RAIJ, B. V.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 285 p.

RANGEL-VASCONCELOS, L. G. T.; KATO, O. R.; VASCONCELOS, S.S. Matéria orgânica leve do solo em sistemas agroflorestais de corte e trituração sob manejo de capoeira. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.47, n.8, p.1142-1149, 2012.

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de latossolo submetido a diferentes sistemas de uso de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31 p:1609-1623, 2007.

RODRIGUES, T.E.; SILVA, R.C.; SILVA, J.M.L.; OLIVEIRA JUNIOR, R.C.; GAMA, J.R.N.F.; VALENTE, M.A. **Caracterização e classificação dos solos do município de Paragominas**. Estado do Pará.-Boletim-Técnico Belém: Embrapa Amazônia Oriental. p. 64, 2002b.

ROSCOE, R.; MACHADO, P. L. O. A. **Fracionamento físico do solo em estudos de matéria orgânica**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. 86p.

SANTOS, D.C.; PILLON, C.N.; FLORES, C.A.; DE LIMA, C.L.R.; CARDOSO, E.M.C.; PEREIRA, B.F.; MANGRICH, A.S. Agregação e frações físicas da matéria orgânica de um Argissolo Vermelho sob sistemas de uso no bioma Pampa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35 p.1735-1744, 2011.

SILVA, J. E.; RESK, D. V. S.; CORAZZA, E. J.; VIVALDI, L. Carbon storage in clayey Oxisol cultivated pastures in the "Cerrado" region, Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 103, n. 2, p. 357-363, 2004.

SOUSA, F. P.; FERREIRA, T. O.; MENDONÇA, E. S.; ROMERO, R. E.; OLIVEIRA, J. G. B. Carbon and nitrogen in degraded Brazilian semi-arid soils undergoing desertification. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 148, p. 11– 21, 2012.

TEIXEIRA, R.A.; SOARES, T.G.; FERNANDES, A.R.; BRAZ, A.M.S. Grasses and legumes as cover crop and in no-tillage system in northeastern Pará Brazil. **Acta Amazônica**, V. 44, n. 4, p. 411-418, 2014.

VASCONCELOS, F.V.; NETO, M.M.G.; UBA, M.A.; COSTA, A.M.; ALVARENGA, R.C.; FONSECA, L.S. **Rendimento forrageiro do milheto, capim piatã e capim massai em plantios consorciados e solteiros**. In: III Congresso de Forragicultura e Pastagens, 2009, Lavras. Anais. Minas Gerais: 2009.

VON LÜTZOW, M., KÖGEL-KNABNER, I., EKSCHMITT, K., FLESSA, H., GUGGENBERGER, G., MATZNER, E., MARSCHNER, B. SOM fractionation methods: relevance to functional pools and to stabilization mechanisms. **Soil Biology Biochemistry**, v. 39, p.2183–2207, 2007.

YAMADA, T.; CASTRO, P.R. de C. e. Efeitos do glifosato nas plantas: implicações fisiológicas e agronômicas. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n.119, p.1- 32, 2007.

CAPÍTULO 4- ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM SISTEMAS DE PLANTIO DIRETO NO MUNICÍPIO DE PARAGOMINAS

RESUMO

O sistema de manejo afeta os atributos químicos do solo, o que pode ter expressivo efeito sobre o desenvolvimento das plantas. O estudo teve como objetivo avaliar o efeito dos sistemas de manejo do solo sobre os atributos químicos de um Latossolo Amarelo. O estudo foi conduzido em Latossolo Amarelo. Utilizando delineamento experimental em blocos casualizados, com três repetições. Foram utilizados dois períodos amostrais, cinco sistemas de uso do solo (três sistemas de plantio direto, plantio convencional e floresta secundária como referência). As amostras de solo foram coletadas nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 0-20 cm. Foi utilizada análise multivariada por componentes principais que foram construídos a partir da correlação entre as quinze variáveis do solo estudadas (pH, MO, P, Al, H+Al, K, Ca, Mg, SB, CTCef, CTCpot, V, m, ARE e ARG) sendo extraídas em ordem decrescente de importância, em termos de sua contribuição para a variação total dos dados. O componente principal explicou a maior parte da variação total dos dados (49,20%). A análise dos componentes principais forneceu componentes interpretáveis, possibilitando traçar estratégias de manejo, a partir do estabelecimento das prioridades de intervenções a serem adotadas.

Palavras-chave: Componentes principais, sistemas de manejo do solo, Fertilidade do solo, Latossolo, Nordeste paraense

ABSTRACT

The management system affects the chemical properties of the soil, which may have significant effects on plant growth. The study aimed to evaluate the effect of soil tillage systems on the chemical attributes of Oxisol. The study was conducted in Oxisol. Using an experimental design of randomized blocks with three replications. Two sampling periods were used, five systems of land use (three systems of tillage, conventional tillage and secondary forest as a reference). Soil samples were collected in the 0-5, 5-10, 10-20 and 0-20 cm. Principal components that were built from the correlation between the fifteen soil variables studied multivariate analysis was used (pH, MO, P, Al, H+Al, K, Ca, Mg, SB, CTCef, CTCpot, V, m, ARE e ARG) being extracted in descending order of importance, considering terms of their contribution to the total variation of the data. The main component explained most of the variation data (49.20%). The principal components analysis provided interpretable components, enabling management strategies, from the establishment of priorities for interventions to be adopted.

Keywords: Major components, management systems of soil, soil Fertility, Oxisol, Northeast Pará.

4.1 INTRODUÇÃO

No Brasil o sistema plantio direto vem sendo praticado há mais de quatro décadas, sendo que já ultrapassa 35 milhões de hectares, em sua maioria cultivados com milho e soja (CONAB, 2013). A partir do ano 2000 a produção de grãos em Paragominas aumentou significativamente transformando o município em um dos maiores produtores paraenses de arroz (*Oryza sativa L.*), milho (*Zea mays*) e soja (*Glycine max*), ocupando aproximadamente 35 mil hectares (PINTO et al., 2009). Entretanto a sustentabilidade da produção agrícola pode ser compreendida quando o uso intensivo e manejo inadequado do solo afetam negativamente os atributos químicos, biológicos e físicos, o que provocará redução da produtividade (LAL; PIRCE, 1991).

Nos últimos anos tem sido constante a busca por sistemas conservacionistas para a produção agrícola, visando a preservação ambiental, a sustentabilidade, a melhoria da qualidade de solos agrícolas e redução dos custos de produção. O sistema de produção que mais se aproxima dessas características é o plantio direto. Para Topakci et al (2011) um dos sistemas produtivos mais eficientes para atender as exigências do mercado e capaz de proporcionar rendimentos satisfatórios tem sido o sistema de plantio direto.

Os atributos do solo são importantes indicadores da qualidade do solo, sendo fundamental a análise de sua fertilidade química e biológica. Alguns elementos do solo variam em função do sistema de manejo adotado. o comportamento do cálcio (Ca) e do magnésio (Mg), é mais variável nos sistemas de manejo do solo e dependem também do tipo de solo, sequências de culturas, clima e diferenças na mobilidade intrínseca de cada elemento no solo (ALMEIDA et al., 2005).

A análise em conjunto dos nutrientes do solo por meio da análise univariada, muitas vezes é de difícil entendimento (SILVA et al., 2010b). Uma alternativa é utilizar a análise multivariada, mais especificamente à análise de componentes principais (ACP), a fim de explicar a estrutura da variância e da covariância de um conjunto de variáveis (JOHNSON; WICHNER, 2002). Na análise simultânea de muitas informações, a estatística multivariada contribui para obter informações e interpretações que poderiam ser imperceptíveis com o uso da análise estatística univariada (CRUZ; REGAZZI, 2001). A análise multivariada possibilita resumir as informações referentes aos atributos do solo e determinar as relações entre as variáveis (PAYE et al., 2012). Este trabalho teve como objetivo avaliar os atributos químicos do solo em sistemas de manejo do solo em dois períodos amostrais.

4.2.2 EXPERIMENTO DE CAMPO

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, duas épocas de coleta, antes (Novembro-2010) e após (Maio-2011) o cultivo do milho e cinco sistemas de uso do solo plantio convencional (PC), três plantios direto (PD), em esquema de rotação conforme a tabela 12, e uma área de floresta secundária (FS) com cerca de 20 anos (referência).

Os tratamentos foram: T1= plantio convencional (PC); T2= plantio direto1 (PD1); T3= plantio direto 2 (PD2); T4= plantio direto 3 (PD3); T5= Floresta secundária (FS).

TABELA 12: Histórico de sucessões de culturas nos tratamentos avaliados.

Ano	2008	2009	2010	2011
Tratamento	P ¹	P ¹ /CB ²	P ¹ /CB ²	P ¹
PD1	Soja	Arroz/Milheto	Milho/Ruziziensis	Soja
PD2	Soja	Arroz/Quicúio	Milho/Piatã	Soja
PD3	Soja	Arroz/Pousio	Milho/Massai	Soja
PC	Soja	Arroz	Milho	Soja
FS	FS	FS	FS	FS

¹Cultura principal, ²- Planta de cobertura.

4.2.2.1. Histórico da área

O experimento teve início em 2008, toda a área foi preparada de forma convencional (aração e gradagens). Assim o plantio foi efetuado em quatro safras, sendo um plantio convencional no ano 2008 e três safras subsequentes (2009, 2010 e 2011) nos sistemas de plantio direto, sendo que o plantio convencional seguiu ao mesmo tempo em que os sistemas de plantio direto se estabeleciam. As culturas se sucederam no tempo e no espaço, conforme planejamento de quatro anos (Tabela 12).

O planejamento de adubação e manejo do experimento ocorreu da seguinte forma: cultura do arroz – espaçamento de 0,22 m entre linhas com 50 plantas/m e adubação com 250 kg ha⁻¹ da fórmula 10-28-20 e 100 kg ha⁻¹ de uréia em cobertura. Aplicação do herbicida Ronstar (oxadiazon) na dose de 2,5 L ha⁻¹ em pós-emergência inicial de plantas daninhas; cultura do milho – espaçamento de 0,70 m entre linhas com 4,5 plantas/m e adubação com 350 kg ha⁻¹ da fórmula 10-28-20 e 200 kg ha⁻¹ de uréia em cobertura e uso de herbicidas à base de alachlor na dose de 5 L ha⁻¹ e atrazine na dose de 4 L ha⁻¹ em pós-emergência inicial das plantas daninhas; cultura da soja – espaçamento de 0,45 m entre linhas com 12 plantas/m e adubação com 350 kg ha⁻¹ da fórmula 04-20-20 e quatro doses por hectare de inoculante (*Bradyrhizobium japonicum*) com veículo turfoso

aplicação do herbicida Imazethapyr na dose de 1,0 L ha⁻¹ em pós emergência precoce das plantas daninhas. As parcelas apresentaram a dimensão de 0,03 ha (30 x 10 m).

Abaixo as médias de produção dos grãos nas safras de 2009, 2010 e 2011. (Tabela 13).

TABELA 13. Produção média de grãos nos tratamentos estudados.

Tratamento	Produção (kg ha ⁻¹)		
	Ano 2009	Ano 2010	Ano 2011
PD1	2.734,9	6.036,3	3.077,0
PD2	2.761,2	6.128,4	3.155,0
PD3	2.731,7	5.685,9	3.190,0
PC	3.069,0	5.364,3	3.109,0

2009: Arroz, 2010: milho, 2011: soja

4.2.3 ANÁLISES DE SOLO

A coleta do solo foi realizada nas profundidades de 0-0,05 m, 0,05-0,10 m e 0,10-0,20 m, em duas épocas, sendo a primeira antes do plantio do milho, em novembro de 2010, e a segunda na ocasião da colheita do milho, em maio de 2011. As amostras de solo foram coletadas nas linhas e entrelinhas de plantio, sendo retiradas cinco amostras simples para formar uma amostra composta.

As análises químicas e físicas foram: pH em água e em solução de KCl, cálcio, magnésio e alumínio trocáveis, extraído com KCl 1 N e determinado por titulação com EDTA 0,025 N; potássio e fósforo disponível, extraído com solução de Mehlich¹ e resina trocadora íons e determinado por colorimetria; matéria orgânica (MO) e o fósforo determinados por colorimetria (RAIJ et al., 2001). De posse dos resultados obtidos das análises químicas foram calculadas a soma de bases trocáveis (SB), a capacidade de troca catiônica total (CTC) e as saturações por bases (V%) e por alumínio (m%). A textura do solo foi determinada conforme Embrapa (2009). A caracterização química e granulométrica dos solos por ocasião da instalação do experimento está representada na Tabela 14.

TABELA 14: Atributos do solo, antes da instalação do experimento em 2008.

Profundidad e	pH ¹	N	P ²	K	Ca ⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+A l	MO	Are a	Argil a
		g m ⁻³	mg dm ⁻³			cmol _c dm ⁻³				g dm ⁻³	
0,0-0,20 m	5,3	4,1	5	134	3,1	0,9	0,2	6,9	36	45	700
0,20-0,40 m	5,3	2,7	2	91	2,0	0,7	0,2	4,6	22	47	740

¹- Determinado em água, ²- Extraído por Mehlich-1.

4.2.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para complementar a estatística univariada, e descrever de forma mais clara e objetiva a relação entre os tratamentos e as variáveis, foi realizada a análise multivariada dos atributos do solo, através do método dos componentes principais. A análise dos dados foi feita utilizando-se o programa sigmaplot[®] versão 11.0.

Os componentes principais foram construídos a partir da correlação entre as quinze variáveis do solo estudadas (pH, MO, P, Al, H+Al, K, Ca, Mg, SB, CTCef, CTCpot, V, M, Areia e Argila) sendo extraídas em ordem decrescente de importância, em termos de sua contribuição para a variação total dos dados (SILVA et al., 2010). O critério para classificação dos autovetores (valores que representam o peso de cada variável, em cada componente, e variam de -1 a +1) foi: valor absoluto < 0,30, classificado como pouco significativo; 0,30–0,40, considerado mediamente significativo; e ≥ 0,50, tido como altamente significativo (COELHO, 2003).

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos componentes principais mostrou que a distribuição dos atributos químicos avaliados em torno dos eixos representativos dos componentes principais 1 e 2 explicam juntos 71,60% da variação total dos dados. Observa-se uma clara distinção entre os tratamentos avaliados, com destaque para o tratamento FS (quadrante II), o qual apresenta solo com característica química diferenciada em relação aos tratamentos manejados (Figura 9).

As variáveis Ca, Mg, CTCef, CTCpot, SB, MO, e H+Al estão associadas com o componente principal 1, sendo os autovetores superiores a 0,27 (Figura 10). Esta resposta indica que estes atributos estão contribuindo para a distinção do tratamento FS dos demais, com exceção do tratamento PC que se assemelha ao tratamento FS quanto a natureza dos atributos químicos SB, CTCpot e CTC efetiva. Para Hair Jr. et al. (2009), variáveis com fatores verdadeiros devem apresentar número substancial de correlações maiores que 0,30.

O gráfico *Biplot* (Figura 11) mostra uma clara relação entre os tratamentos PD1 e PD2 e a disponibilidade dos elementos P e K. Este resultado é comum em sistemas abertos que recebe

correção da fertilidade, sobretudo com adição de formulações do tipo N-P-K. Observa-se também uma relação do tratamento PD3 com a saturação por alumínio, indicando uma possível ocorrência de grande ocupação de cátions de caráter ácido no solo sob este sistema de manejo. De Freitas et al. (2014) também utilizaram a análise multivariada na avaliação dos atributos do solo e observaram alta eficiência na verificação das similaridades e diferenças nos atributos químicos do solo nas áreas estudadas.

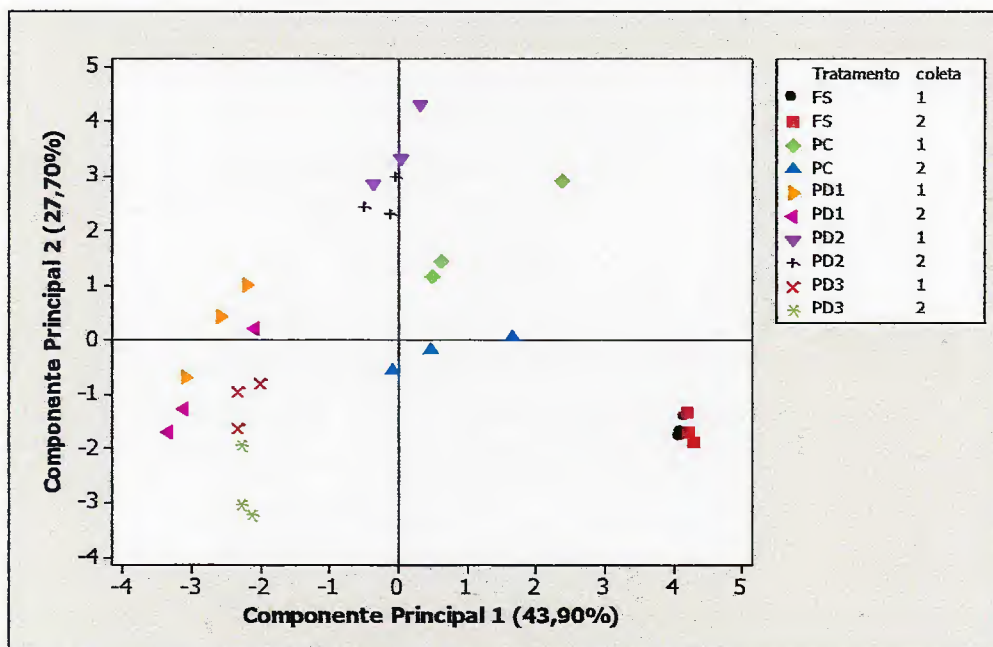


FIGURA 9. Gráfico dos *Scores* dos atributos do solo (pH, MO, P, Al, H+AlK, Ca, Mg, SB, CTCef, CTCpot, V, m, ARE e ARG) na profundidade 0-5 cm, em função dos tratamentos (PD1: plantio direto 1; PD2: plantio direto 2; PD3: plantio direto 3; PC: plantio convencional; FS: floresta secundária) e dos períodos coleta (1: antes do plantio do milho; 2: depois do plantio do milho).

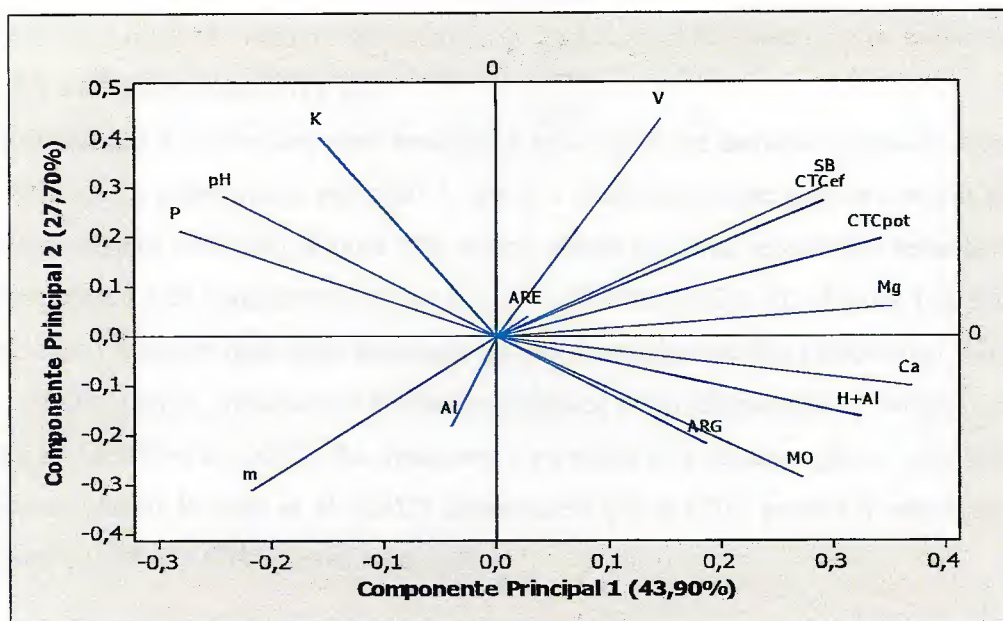


FIGURA 10. Gráfico dos *Loadings* dos atributos do solo (pH, MO, P, Al, H+Al, K, Ca, Mg, SB, CTCef, CTCpot, V, m, ARE e ARG) na profundidade 0-5 cm, em função dos tratamentos (PD1: plantio direto 1; PD2: plantio direto 2; PD3: plantio direto 3; PC: plantio convencional; FS: floresta secundária) e dos períodos de coleta (1: antes do plantio do milho; 2: depois do plantio do milho).

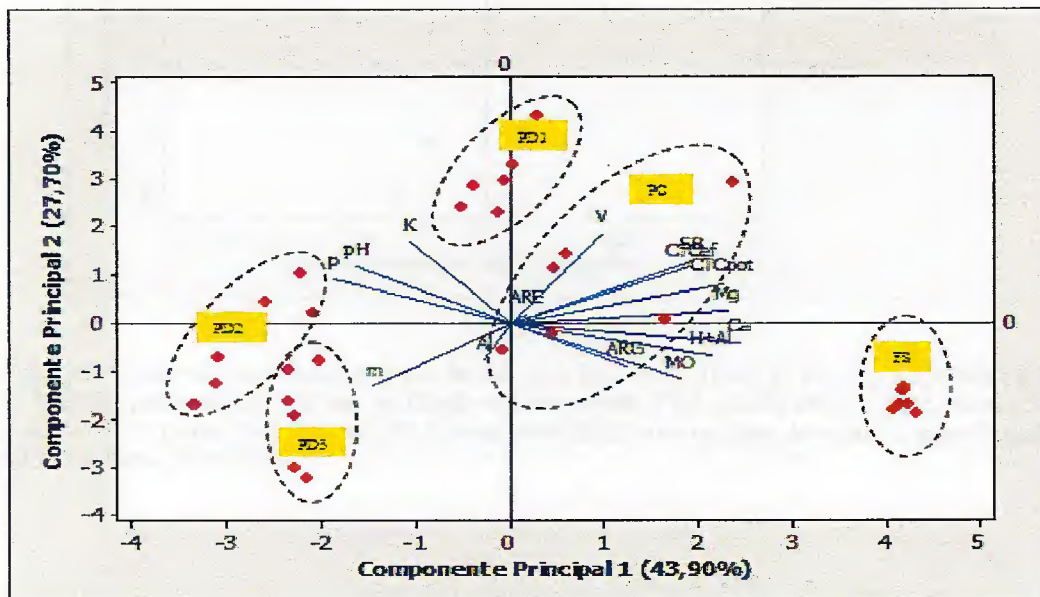


FIGURA 11. Gráfico *Biplot* dos atributos do solo (pH, MO, P, Al, H+Al, K, Ca, Mg, SB, CTCef, CTCpot, V, m, ARE e ARG) na profundidade 0-5 cm, em função dos tratamentos (PD1: plantio direto 1; PD2: plantio direto 2; PD3: plantio direto 3; PC: plantio convencional; FS: floresta secundária) e dos períodos de coleta (1: antes do plantio do milho; 2: depois do plantio do milho).

A análise dos componentes principais mostrou que a distribuição dos atributos químicos avaliados em torno dos eixos representativos dos componentes principais 1 e 2 explicam juntos 69,90% da variação total dos dados, para a profundidade de 5-10 cm (Figura 12). Observa-se na

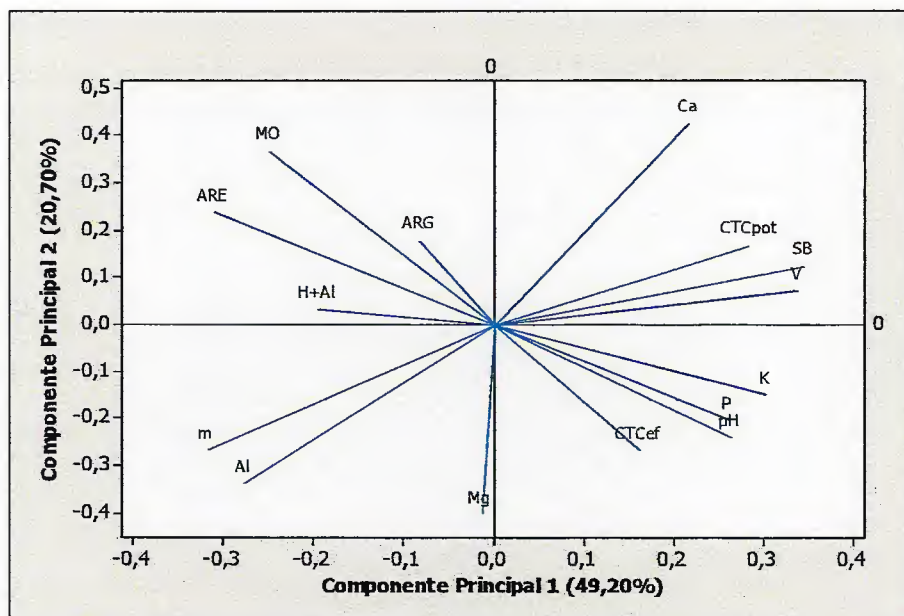


FIGURA 13. Gráfico dos *Loadings* dos atributos do solo (pH, MO, P, Al, H+Al, K, Ca, Mg, SB, CTCef, CTCpot, V, m, ARE e ARG) na profundidade 5-10 cm, em função dos tratamentos (PD1: plantio direto 1; PD2: plantio direto 2; PD3: plantio direto 3; PC: plantio convencional; FS: floresta secundária) e dos períodos de coleta (1: antes do plantio do milho; 2: depois do plantio do milho).

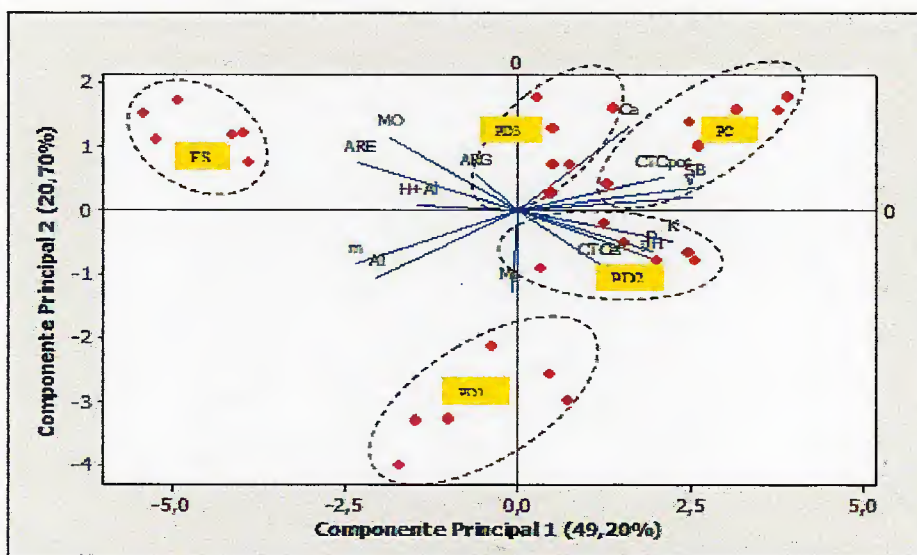


FIGURA 14. Gráfico *Biplot* dos atributos do solo (pH, MO, P, Al, H+Al, K, Ca, Mg, SB, CTCef, CTCpot, V, m, ARE e ARG) na profundidade 5-10 cm, em função dos tratamentos (PD1: plantio direto 1; PD2: plantio direto 2; PD3: plantio direto 3; PC: plantio convencional; FS: floresta secundária) e dos períodos de coleta (1: antes do plantio do milho; 2: depois do plantio do milho).

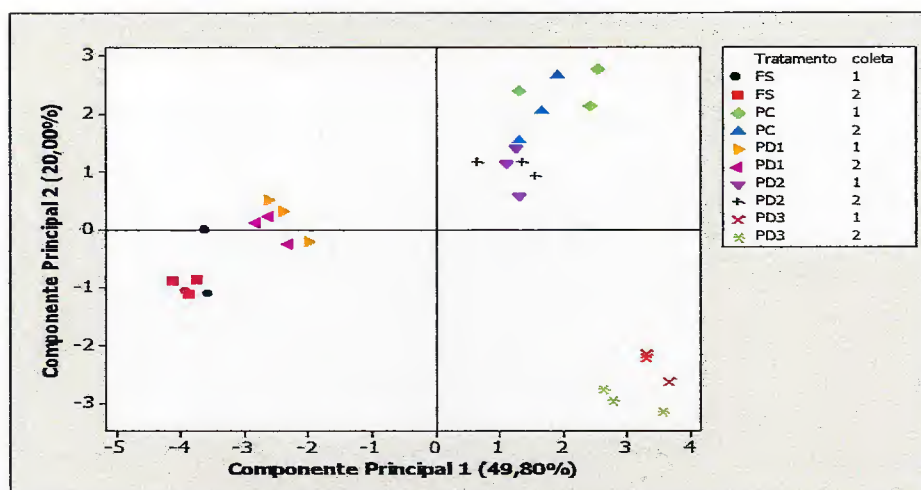


FIGURA 15. Gráfico dos Scores dos atributos do solo (pH, MO, P, Al, H+Al, K, Ca, Mg, SB, CTCef, CTCpot, V, m, ARE e ARG) na profundidade 10-20 cm, em função dos tratamentos (PD1: plantio direto 1; PD2: plantio direto 2; PD3: plantio direto 3; PC: plantio convencional; FS: floresta secundária) e dos períodos de coleta (1: antes do plantio do milho; 2: depois do plantio do milho).

Nas Figuras 15, 16 e 17, verifica-se a resposta gráfica dos componentes principais 1 e 2 gerados a partir dos atributos químicos do solo, na camada 10-20 cm, em função dos tratamentos e períodos de coleta avaliados. A análise dos componentes principais mostrou que a distribuição dos atributos químicos avaliados em torno dos eixos representativos dos componentes principais 1 e 2 explicam juntos 69,80% da variação total dos dados. Na Figura 15, também se observa uma clara distinção entre os tratamentos avaliados, destacando-se os grupos FS/PD1 (quadrantes III e IV), PD2/PC (quadrante I) e PD3 isolado (quadrante II).

O componente principal 1 possui autovalor 7,4711, que representa 49,80% da variação total dos dados. Os atributos químicos Ca, V, CTCpot, SB, P, K, novamente apresentam maiores autovetores associados ao componente principal 1. Dessa forma, os tratamentos PD2, PD3 e PC apresentam as características químicas que conferem a sua relação a este componente. A acidez trocável e potencial parecem ser os atributos que estão associados aos tratamentos PD1 e FS. A floresta secundária apresenta solo com menor pH, devido a não correção da acidez natural, como ocorre nos sistemas de manejo. Ao avaliarem a solução do solo em um Latossolo Vermelho distrófico submetido a diferentes sistemas de manejo Spera et al. (2014) também observaram maior acidez natural na área de mata. Outro fator que contribuiu para o aumento da acidez do solo é a decomposição da MO, o que pode ter contribuído para o aumento da acidez nos tratamentos antropizados.

Em relação ao componente principal 2, que apresenta autovalor igual a 2,9983, correspondente a 20,00% da variação total dos dados, apresenta um atributo químico associado. Trata-se do Mg, o qual exibe relação aproximada com o sistema PD2 e PC.

Observa-se no gráfico *Biplot* (Figura 17) a relação entre a FS e o Al. Contrariamente aos resultados encontrados neste trabalho no estudo realizado por Spera et al. (2014) os maiores teores de Al foram encontrados no PC. Provavelmente a correção do solo realizada no início do experimento contribuiu para a redução no teor de Al nos sistemas de manejo estudados.

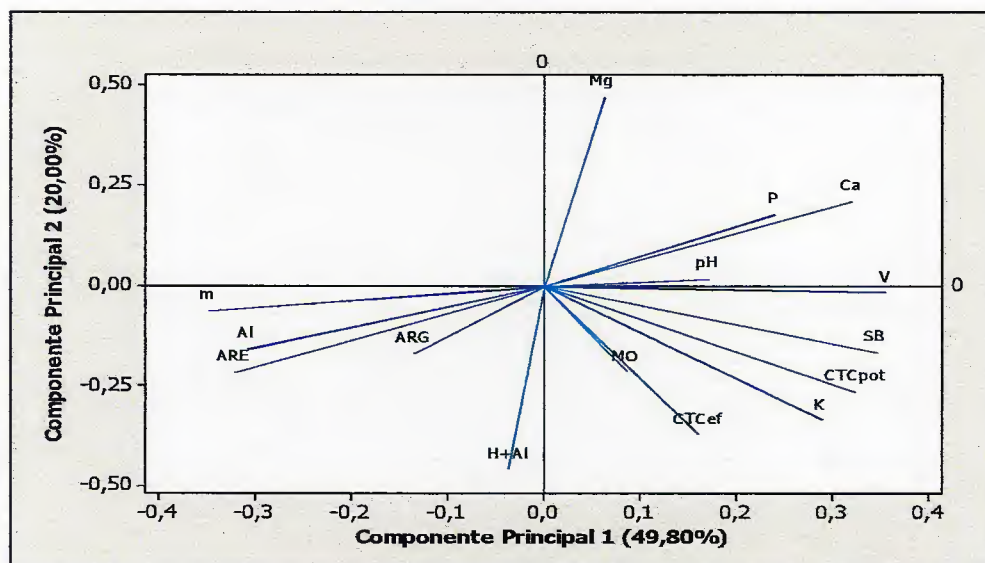


FIGURA 16. Gráfico dos *Loadings* dos atributos do solo (pH, MO, P, Al, H+Al, K, Ca, Mg, SB, CTCef, CTCpot, V, m, ARE e ARG) na profundidade 10-20 cm, em função dos tratamentos (PD1: plantio direto 1; PD2: plantio direto 2; PD3: plantio direto 3; PC: plantio convencional; FS: floresta secundária) e dos períodos de coleta (1: antes do plantio do milho; 2: depois do plantio do milho).

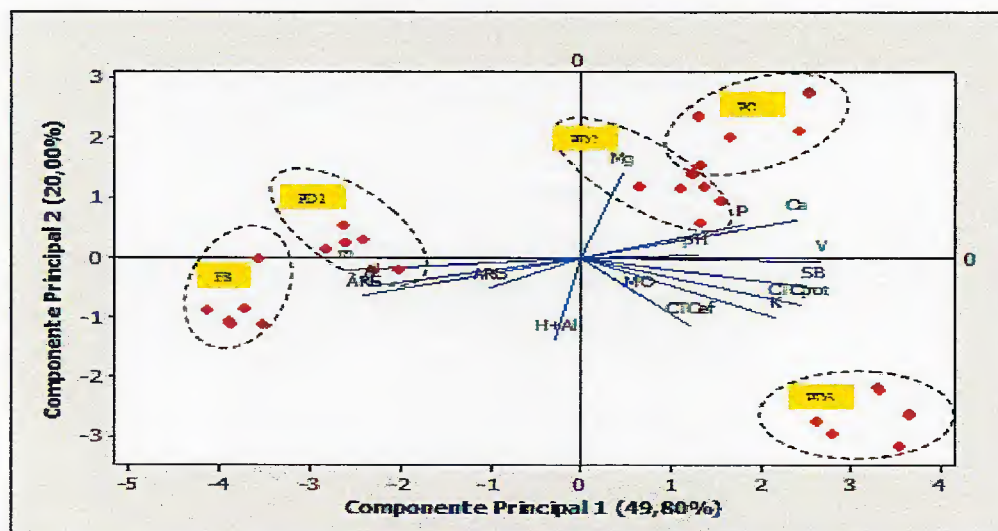


FIGURA 17. Gráfico *Biplot* dos atributos do solo (pH, MO, P, Al, H+Al, K, Ca, Mg, SB, CTCef, CTCpot, V, m, ARE e ARG) na profundidade 10-20 cm, em função dos tratamentos (PD1: plantio direto 1; PD2: plantio direto 2; PD3: plantio direto 3; PC: plantio convencional; FS: floresta secundária) e dos períodos de coleta (1: antes do plantio do milho; 2: depois do plantio do milho).

4.4 CONCLUSÕES

O uso da análise multivariada foi eficiente para a distinção das similaridades ou diferenças entre os atributos do solo e os sistemas de manejo do solo nas áreas pesquisadas.

A floresta secundária apresentou-se de maneira geral, bastante diferente no que diz respeito a sua fertilidade química, das áreas utilizadas para agricultura, estando mais próxima dos sistemas de plantio direto que do sistema de plantio convencional.

O plantio direto apresentou melhor fertilidade química do solo, quando comparado ao sistema de plantio convencional.

4.5 CONCLUSÃO GERAL

O sistema de plantio convencional apresentou os piores índices de qualidade biológica do solo, tendo os menores estoques de carbono da biomassa microbiana em todas as profundidades amostradas antes do plantio do milho. Demonstrando ser o sistema de cultivo mais degradante.

Dentre as frações do C observou-se maior sensibilidade aos efeitos do cultivo do solo, na fração leve livre.

A substituição da floresta secundária por áreas manejadas reduziu os teores de nitrogênio total.

A quantidade de CO no Latossolo estudado, em todos os sistemas de cultivo e nas profundidades avaliadas, deve-se, principalmente, à fração pesada.

A floresta secundária apresentou características químicas do solo, bastante distintas das áreas manejadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, J. A.; BERTOL, L.; LEITE, D.; AMARA, A. J.; ZOLDAN JÚNIOR, L. W. A. Propriedades químicas de um Cambissolo Húmico sob preparo convencional e semeadura direta após seis anos de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 437-445. 2005.

BRIEDIS, C.; SÁ, J. C. M.; CAIRES, E F.; NAVARRO, J. F.; INAGAKI, T. M.; FERREIRA, A. O. Soil carbon and fertility attributes in response to surface liming under no-tillage. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 47, n. 7, p. 1007-1014. 2012

COELHO, A. M. Agricultura de precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e culturas. Sete Lagoas: **Embrapa Milho e Sorgo**, 2003. 62 p.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 2001. 390 p.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de Grãos: sexto levantamento 2012/13** Março 2013. Brasília: Conab, 2013. 26p.

DE FREITAS, L.; CASAGRANDE, J. C.; DE OLIVEIRA, I. A.; CAMPOS, M. C. C. Análise multivariada na avaliação de atributos de solos com diferentes texturas cultivados com cana-de-açúcar. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v. 57, n. 3, p. 224-233. 2014.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2.ed. Brasília, Informação Tecnológica, 2009. 628p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília - DF, 2013, 3 ed. 353 p.

GENU, A. M.; DEMATTÊ, J. A. M.; NANNI, M. R. Caracterização e comparação do comportamento espectral de atributos do solo obtidos por sensores orbitais (ASTER e TM) e terrestre (IRIS). **Ambiência**, v. 9, n. 2, p. 279-288, 2013.

- HAIR Jr., J.F.; BLACK, W.C.; BABIN, B.J.; ANDERSON, R.E. & TATHAM, R.L. **Análise multivariada de dados**. 6.ed. Porto Alegre, Bookman, 2009. 688p.
- LAL, R.; PIRCE, F. J. The vanishing resource. In: LAL, R.; PIRCE, F. J. (Ed.). Soil management for sustainability. Ankeny: **Soil and Water Conservation Society**, p.1-5. 1991.
- JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied multivariate statistical analysis**. 5. ed. New Jersey: Prentice Hall, 2002. 767 p.
- PAYE, H. S.; DE MELLO, J. W. V.; DE MELO, S. B. Métodos de análise multivariada no estabelecimento de valores de referência de qualidade para elementos-traço em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, V. 36, p. 1031-1041. 2012.
- PINTO, A., AMARAL, P.; JR, C.S.; VERISSÍMO, A.; SALOMÃO, R.; GOMES, G. BALIEIRO, C. **Diagnóstico Socioeconômico e Florestal do Município de Paragominas. Relatório técnico**. Belém-PA. Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia – IMAZON, 2009.
- RAIJ, B. Van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 285 p.
- RODRIGUES, T.E.; SILVA, R.C.; SILVA, J.M.L.; OLIVEIRA JÚNIOR, R.C.;GAMA, J.R.N.F.; VALENTE, M.A. 2003. **Caracterização e classificação dos solos do município de Paragominas, Estado do Pará**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental. 51p. (Documentos 162).
- SILVA, S. de A.; LIMA, J. S. S.; XAVIER, A.C.; TEIXEIRA, M. M. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo húmico cultivado com café. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 1, p. 15-22, 2010b.
- SPERA, S. T.; ESCOSTEGUY, P. A. V.; DOS SANTOS, H.P.; KLEIN, V.A. A solução do solo de um Latossolo Vermelho distrófico submetido a três tipos de manejo do solo e de culturas. **Nativa**, v. 02, n. 02, p. 58-64, 2014.
- TOPAKCI, M. Sesame hill dropping performance of a vacuum seeder for different tillage practices. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 27, n. 02, p. 203-209, 2011.

APÊNDICE

TABELA 3. Autovalores dos componentes principais e matriz de correlação entre os componentes e os atributos do solo (pH, MO, P, Al, H+Al, K, Ca, Mg, SB, CTCef, CTCpot, V, m, ARE e ARG) na profundidade 0-5 cm, em função dos tratamentos (PD1: plantio direto 1; PD2: plantio direto 2; PD3: plantio direto 3; PC: plantio convencional; FS: floresta secundária) e dos períodos de coleta (1: antes do plantio do milho; 2: após o plantio do milho).

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
Autovalor	6,5914	4,1560	1,7882	1,0148	0,7843
Proporção	0,439	0,277	0,119	0,068	0,052
Acumulado	0,439	0,716	0,836	0,903	0,956
Variable					
pH	-0,244	0,284	-0,015	-0,126	-0,214
MO	0,272	-0,284	0,132	-0,110	-0,337
P	-0,283	0,215	-0,302	-0,109	-0,103
Al	-0,041	-0,181	-0,642	-0,163	-0,298
H+Al	0,324	-0,162	-0,250	-0,064	0,113
K	-0,159	0,406	-0,219	0,061	0,188
Ca	0,370	-0,100	0,031	-0,007	-0,078
Mg	0,352	0,062	0,119	-0,109	-0,349
SB	0,295	0,308	-0,131	0,011	-0,019
CTCef	0,291	0,277	-0,256	-0,021	-0,076
CTCpot	0,342	0,197	-0,186	-0,012	0,021
V	0,147	0,445	0,000	0,031	-0,083
m	-0,219	-0,312	-0,346	-0,124	-0,226
ARE	0,027	0,042	0,114	-0,930	0,329
ARG	0,187	-0,217	-0,322	0,180	0,626

TABELA 5. Autovalores dos componentes principais e matriz de correlação entre os componentes e os atributos do solo (pH, MO, P, Al, H+Al, K, Ca, Mg, SB, CTCef, CTCpot, V, m, ARE e ARG) na profundidade 10-20 cm, em função dos tratamentos (PD1: plantio direto 1; PD2: plantio direto 2; PD3: plantio direto 3; PC: plantio convencional; FS: floresta secundária) e dos períodos de coleta (1: antes do plantio do milho; 2: após o plantio do milho).

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
Autovalor	7,4711	2,9983	1,9068	1,1640	0,6113
Proporção	0,498	0,200	0,127	0,078	0,041
Acumulado	0,498	0,698	0,825	0,903	0,943
Variável					
pH	0,171	0,018	-0,559	-0,143	0,028
MO	0,086	-0,213	0,360	-0,561	0,441
P	0,240	0,178	-0,303	0,305	-0,158
Al	-0,309	-0,156	0,250	0,208	-0,131
H+Al	-0,037	-0,457	-0,307	-0,154	-0,120
K	0,288	-0,333	0,037	0,139	-0,111
Ca	0,319	0,211	0,081	-0,130	0,220
Mg	0,062	0,471	0,272	0,227	-0,014
SB	0,345	-0,164	0,082	0,095	-0,024
CTCef	0,161	-0,370	0,351	0,328	-0,158
CTCpot	0,324	-0,262	0,009	0,057	-0,050
V	0,356	-0,017	0,123	0,116	0,018
m	-0,349	-0,062	0,156	0,109	-0,083
ARE	-0,322	-0,216	-0,147	-0,027	-0,113
ARG	-0,136	-0,168	-0,191	0,521	0,800

TABELA 6. Atributos químicos do solo antes do cultivo do milho (novembro- 2010)

..... pH.....					
prof.	PC	PD1	PD2	PD3	FS
0-5	5,33 Aa	5,30 ABa	4,93 Cab	5,00 BCa	4,60 Da
5-10	5,03 Ab	5,07 Aa	5,07 Aa	5,00 Aa	4,57 Ba
10-20	4,67 Bc	5,03 Aa	4,77 ABb	4,57 Bb	4,47 Ba
.....MO g dm ⁻³					
0-5	39,77 Ca	43,57 Ba	44,37 Ba	43,93 Ba	74,17 Aa
5-10	29,13 Cb	36,10 Bb	36,50 Bb	36,53 Bb	52,93 Ab
10-20	26,93 Dc	32,17 Bc	31,17 Cc	35,70 Ac	36,17 Ac
.....P mg dm ⁻³					
0-5	16,10 Aa	15,07 ABa	9,60 Cb	13,97 Ba	1,27 Da
5-10	13,13 Bb	17,50 Ab	15,93 Aa	11,13 Cb	0,60 Db
10-20	7,40 Ac	8,00 Ac	7,10 Ac	7,03 Ac	0,53 Bb
.....Al mmol _c dm ⁻³					
0-5	1,37 Ac	1,10 Ab	1,13 Ab	1,33 Ab	1,33 Ac
5-10	2,60 Ab	1,80 Ba	1,73 Bab	1,23 Cb	2,67 Ab
10-20	3,60 Aa	1,33 Cb	2,03 Ba	2,07 Ba	3,60 Aa
.....H+Al mmol _c dm ⁻³					
0-5	5,09 Ca	5,04 Cb	4,94 Cb	5,62 Ba	6,24 Aa
5-10	5,24 BCa	5,47 ABa	5,67 Aa	4,93 Cb	5,84 Ab
10-20	5,17 Aa	5,24 Aab	5,51 Aa	4,62 Bb	5,37 Ac
.....K mmol _c dm ⁻³					
0-5	3,37 ABa	4,23 Aa	2,50 Bb	4,20 Aa	1,27 Ca
5-10	1,50 Ab	1,83 Ab	1,37 Ac	1,57 Ab	0,77 Bb
10-20	1,00 Bb	1,37 Bb	3,73 Aa	1,50 Bb	0,53 Cb
.....Ca mmol _c dm ⁻³					
0-5	2,83 Ca	3,26 BCa	2,97 Ca	3,74 Ba	5,47 Aa
5-10	1,80 Cb	2,44 Bb	2,69 Bab	3,26 Ab	2,29 BCb
10-20	1,70 Bb	2,41 Ab	2,35 Ab	2,67 Ac	1,78 Bc
.....Mg mmol _c dm ⁻³					
0-5	0,61 Db	1,33 Ba	0,71 Da	1,03 Ca	1,71 Aa
5-10	1,14 Aa	0,85 Bb	0,61 Cb	0,88 Bb	0,83 Bb
10-20	0,56 Bb	0,52 Bc	0,48 Bc	0,80 Ab	0,48 Bc
.....V %.....					
0-5	57,17 Ba	63,64 Aa	55,56 Ba	61,41 Aa	57,53 Ba
5-10	45,92 BCb	48,48 Bb	45,15 Cb	53,64 Ab	39,91 Db
10-20	38,91 Cc	45,03 Bc	54,36 Aa	51,83 Ab	34,19 Dc
.....M%.....					
0-5	16,68 Ac	11,11 Bb	15,46 ABb	13,01 ABc	13,61 ABc
5-10	36,99 Ab	26,03 Ba	26,95 Ba	17,79 Cb	40,71 Ab
10-20	52,49 Aa	23,57 Ca	23,64 Ca	29,37 Ba	56,16 Aa

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey (p<0,05)

TABELA 5. Atributos químicos do solo após o cultivo do milho (maio-2011).

..... pH.....					
prof.	PC	PD1	PD2	PD3	FS
0-5	5,23 Aa	5,23 Aa	4,80 ABa	4,73 Ba	4,57 Ba
5-10	5,03 Aa	5,00 ABa	5,03 Aa	4,87 ABa	4,57 Ba
10-20	4,60 ABb	5,03 Aa	4,77 ABa	4,57 Ba	4,57 Ba
.....MO g dm ⁻³					
0-5	48,13 Ca	47,80 Ca	60,13 Ba	45,33 Ca	75,87 Aa
5-10	31,60 Cb	37,53 BCb	41,10 Bc	38,77 Bb	54,87 Ab
10-20	28,30 Db	32,37 CDb	48,27 Ab	36,63 BCb	39,53 Bc
.....P mg dm ⁻³					
0-5	22,80 Aa	19,77 Ba	12,77 Db	16,30 Ca	1,20 Ea
5-10	15,60 Bb	20,17 Aa	19,30 Aa	11,77 Cb	0,57 Da
10-20	7,57 Ac	9,90 Ab	7,10 Ac	7,50 Ac	0,57 Ba
.....Al mmol _c dm ⁻³					
0-5	1,57 Ac	1,33 Ab	1,43 Ab	1,63 Ab	1,33 Ac
5-10	2,83 Ab	1,97 Ba	1,63 Bb	1,53 Bb	2,57 Ab
10-20	3,53 Aa	1,43 Cb	2,27 Ba	2,23 Ba	3,87 Aa
.....H+Al mmol _c dm ⁻³					
0-5	5,36 Ba	5,22 Bb	5,15 Bb	5,93 Aa	6,17 Aa
5-10	5,60 ABa	5,73 Aa	5,67 ABa	5,30 Bb	5,81 Ab
10-20	5,49 Aa	5,44 Aab	5,66 Aa	4,93 Bc	5,40 Ac
.....K mmol _c dm ⁻³					
0-5	3,00 ABa	3,87 Aa	2,13 Bb	3,40 Aa	1,20 Ca
5-10	1,20 Ab	1,50 Ab	1,13 Ac	1,30 Ab	0,73 Bb
10-20	0,80 Cc	1,17 Bb	3,27 Aa	1,13 BCb	0,50 Dc
.....Ca mmol _c dm ⁻³					
0-5	2,84 Ca	3,28 BCa	2,95 Ca	3,75 Ba	5,49 Aa
5-10	1,82 Db	2,48 BCb	2,83 ABa	3,29 Ab	2,24 CDb
10-20	1,68 Bb	2,45 Ab	2,37 Ab	2,73 Ac	1,69 Bc
.....Mg mmol _c dm ⁻³					
0-5	0,63 Db	1,38 Ba	0,77 Da	0,99 Ca	1,79 Aa
5-10	1,18 Aa	0,86 Bb	0,65 Ca	0,95 Ba	0,82 BCb
10-20	0,64 ABb	0,57 Bc	0,45 Bb	0,78 Ab	0,50 Bc
.....V %.....					
0-5	54,67 BCa	62,03 Aa	53,21 Ca	57,84 Ba	57,87 Ba
5-10	42,89 Bb	45,76 Bb	44,83 Bb	51,11 Ab	39,51 Cb
10-20	36,24 Dc	43,43 Cb	51,77 Aa	48,48 Bb	33,23 Dc
.....M%.....					
0-5	19,51 Ac	13,51 Ab	19,62 Ab	16,72 Ab	13,56 Ac
5-10	40,14 Ab	28,91 Ba	26,03 BCa	21,66 Cb	40,34 Ab
10-20	53,12 Aa	25,48 Ca	27,15 BCa	32,47 Ba	58,97 Aa

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).