



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA  
MESTRADO EM AGRONOMIA**

**LETÍCIA CUNHA DA HUNGRIA**

**INDICADORES BIOLÓGICOS DE QUALIDADE DO SOLO EM UMA  
CRONOSSEQUÊNCIA SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO NA  
AMAZÔNIA ORIENTAL**

**BELÉM  
2018**

**LETÍCIA CUNHA DA HUNGRIA**

**INDICADORES BIOLÓGICOS DE QUALIDADE DO SOLO EM UMA  
CRONOSSEQUÊNCIA SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO NA  
AMAZÔNIA ORIENTAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do curso de Pós-Graduação em Agronomia: área de concentração Fertilidade do Solo, Adubação e Nutrição de Plantas, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Mário Lopes da Silva Júnior

Co-orientadora: Prof<sup>a</sup> Dra. Vânia Silva de Melo

Co-orientador: Dr. Edilson Carvalho Brasil

**BELÉM  
2018**

---

Hungria, Letícia Cunha da

Indicadores biológicos de qualidade do solo em uma cronosequência sob sistema plantio direto na Amazônia Oriental / Letícia Cunha da Hungria. – Belém, PA, 2018.

68 f.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, 2018.

Orientador: Mario Lopes da Silva Júnior.

1. Sistemas de Manejo do Solo. 2. Atividade Microbiana do Solo. 3. Formas de N. 4. Solo – Propriedades Biológicas. I. Silva Júnior, Mario Lopes da (orientador)  
II. Título

---

CDD – 631.417

---

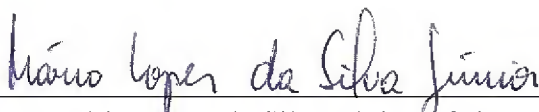
**LETÍCIA CUNHA DA HUNGRIA**

**INDICADORES BIOLÓGICOS DE QUALIDADE DO SOLO EM UMA  
CRONOSSEQUÊNCIA SOB PLANTIO DIRETO NA AMAZÔNIA  
ORIENTAL**


Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do curso de Mestrado em Agronomia, para obtenção do título de Mestre.

Aprovada em 30 de julho de 2018

**BANCA EXAMINADORA**



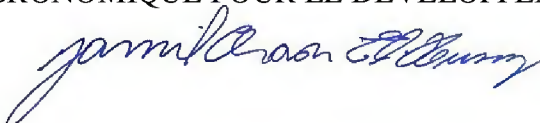
Dr. Mário Lopes da Silva Júnior – Orientador  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA



Dra. Sandra Andréa Santos da Silva – 1º Examinador  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ – UFPA



Dr. Raphael Marichal – 2º Examinador  
LA RECHERCHE AGRONOMIQUE POUR LE DÉVELOPPEMENT - CIRAD



Dr. Jamil Chaar El-Husny – 3º Examinador  
EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL - CPATU

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO I

<b>Tabela 1</b> - Sequência de rotação de culturas no período de 2005 a 2017, nos diferentes sistemas de manejo e tempos de adoção do SPD, Paragominas-PA, 2017 .....	19
<b>Tabela 2</b> - Caracterização química de um Latossolo Amarelo nas áreas de vegetação nativa (VN), sistema convencional e áreas com 4, 6, 10 e 12 anos de SPD em diferentes profundidades, Paragominas (PA) .....	24
<b>Tabela 3</b> - Características físicas do solo sob vegetação nativa, sistema convencional, sistema plantio direto com 4,6, 10 e 12 anos em Latossolo Amarelo, Paragominas (PA) .....	26
<b>Tabela 4</b> - Nitrogênio total ( $N_{total}$ ) em solos sob diferentes sistemas de uso e manejo do solo, em duas épocas do ano e nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm .....	27
<b>Tabela 5</b> - Nitrogênio microbiano ( $N_{mic}$ ) em solos sob diferentes sistemas de uso e manejo do solo, em duas épocas do ano e nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm .....	29
<b>Tabela 6</b> - Relação $N_{mic}:N_{total}$ (%) em solos sob diferentes sistemas de uso e manejo do solo, em duas épocas do ano e nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm .....	31
<b>Tabela 7</b> - Nitrato ( $NO_3^-$ ) no solo com 4, 6, 10 e 12 anos de SPD, vegetação nativa e sistema convencional, em duas épocas de amostragem, em Paragominas (PA) .....	33
<b>Tabela 8</b> - Amônio ( $NH_4^+$ ) no solo com 4, 6, 10 e 12 anos de SPD, vegetação nativa e sistema convencional, em duas épocas de amostragem, em Paragominas (PA) .....	35
<b>Tabela 9</b> - Taxas líquidas de mineralização e nitrificação do N no solo ( $mg\ kg^{-1}\ d^{-1}$ ) com 4, 6, 10 e 12 anos de SPD, vegetação nativa e sistema convencional, em duas épocas de amostragem, em Paragominas (PA) .....	38

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

### CAPÍTULO I

<b>BMS</b>	Biomassa microbiana do solo
<b>cm</b>	Centímetros
<b>COT</b>	Carbono orgânico total
<b>kg</b>	Quilograma
<b>mg</b>	Miligrama
<b>mL</b>	Mililitro
<b>MO</b>	Matéria orgânica
<b>MOS</b>	Matéria Orgânica do Solo
<b>N</b>	Nitrogênio
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	Amônio
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	Nitrato
<b>Nmic</b>	N microbiano
<b>Nmin</b>	N mineral
<b>P</b>	Fósforo
<b>SC</b>	Sistema convencional
<b>SPD</b>	Sistema plantio direto
<b>TLM</b>	Taxa líquida de mineralização
<b>TLN</b>	Taxa líquida de nitrificação
<b>VN</b>	Vegetação nativa

### CAPÍTULO II

<b>CO</b>	Carbono orgânico
<b>C-BMS</b>	Carbono microbiano
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de carbono
<b>RBS</b>	Respiração basal do solo

# INDICADORES DE BIOLÓGICOS DE QUALIDADE DO SOLO EM UMA CRONOSSEQUÊNCIA SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO NA AMAZÔNIA ORIENTAL

## RESUMO

Os sistemas de manejo do solo e o tempo de implantação provocam mudanças nas propriedades biológicas do solo, considerando a natureza dinâmica dos micro-organismos do solo. Nesse contexto, o estudo sobre os indicadores biológicos fornece subsídios para a avaliação do impacto dos sistemas sobre o solo, o qual está relacionado aos processos ocorrentes no ecossistema e que depende da sustentabilidade em longo prazo. Objetivou-se avaliar as transformações ocorridas nos indicadores biológicos em razão do tempo de implantação do sistema plantio direto (SPD) na Amazônia Oriental. O estudo foi realizado no Município de Paragominas (PA), onde selecionaram-se áreas sob SPD com 4 (SPD4), 6 (SPD6), 10 (SPD10) e 12 (SPD12) anos, uma área sob sistema convencional (SC) e outra sob vegetação nativa (VN). Foram coletadas amostras nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, de um Latossolo Amarelo de textura muito argilosa, em duas épocas do ano (período chuvoso e seco). Utilizou-se delineamento inteiramente casualizado, em parcelas subdivididas, com quatro repetições. Foram quantificados os teores de  $N_{total}$ ,  $N_{mic}$ ,  $NO_3^-$  e  $NH_4^+$  no solo e foram estimadas as taxas mineralização (TLM) e nitrificação do solo (TLN) e avaliada a relação  $N_{mic}:N_{total}$ . Em adição, foram quantificados o carbono orgânico (CO), C-BMS e a respiração basal do solo. Os resultados mostraram que o  $N_{total}$  foi pouco alterado com o incremento do tempo de SPD, não apresentando diferença entre as idades avaliadas. Nos solos sob SPD, o  $N_{mic}$  tende a ser incrementado, preferencialmente, na camada superficial (0-5 cm), sendo os sistemas SPD10 e SPD12 os maiores contribuintes dessa fração no solo. De maneira geral, O SPD incrementou maiores teores de  $N-NO_3^-$  e  $N-NH_4^+$  no solo em relação ao SC, com destaque para o SPD10 e SPD12 que foram semelhantes à VN, evidenciando a influência do tempo do sistema sobre a ciclagem do N. O tempo de implantação de até 12 anos de SPD não foi suficiente para provocar mudanças significativas de COT no solo. O teor de C microbiano foi semelhante entre todos os solos sob SPD. O SPD ao longo do tempo provocou pequenas alterações nos atributos biológicos do solo, sugerindo que ao longo do tempo o sistema pode promover ao solo a similaridade com as suas condições originais após a conversão para sistemas de produção.

**Palavras-chave:** Sistemas de manejo. Atividade microbiana do solo. Formas de N.

# INDICATORS OF SOIL QUALITY BIOLOGY IN A CHRONOSSEQUENCE UNDER NO-TILLAGE IN THE EASTERN AMAZON

## ABSTRACT

The soil management systems and the time of implantation provoke changes in the biological properties of the soil, considering the dynamic nature of the soil microorganisms. In this context, the study on biological indicators provides inputs for assessing the impact of systems on soil, which is related to the processes that occur in the ecosystem and which depends on long-term sustainability. The objective of this study was to evaluate the changes in biological indicators due to the time of implantation of the no - tillage (NT) in the Eastern Amazon. The study was carried out in the city of Paragominas (PA), where areas under NT were selected with 4 (NT4), 6 (NT6), 10 (NT10) and 12 (NT12) years, an area under conventional system (CS) another under native vegetation (NV). Samples were collected at 0-5, 5-10 and 10-20 cm depths of a very clayey Yellow Latosol at two seasons of the year (rainy and dry). A completely randomized design was used, in subdivided plots, with four replications. The values of  $N_{total}$ ,  $N_{mic}$ ,  $NO_3^-$  and  $NH_4^+$  in the soil were quantified and the mineralization (SMR) and soil nitrification (SNR) rates were evaluated and the  $N_{mic}: N_{total}$  ratio was evaluated. In addition, organic carbon (OC), C-MSB and basal respiration of the soil were quantified. The results showed that the  $N_{total}$  was slightly altered with the increase of the NT time, showing no difference between the evaluated ages. In soils under NT,  $N_{mic}$  tends to be increased, preferentially, in the superficial layer (0-5 cm), NT10 and NT12 being the largest contributors of this fraction in the soil. In general, NT increased  $N-NO_3^-$  and  $N-NH_4^+$  levels in the soil in relation to CS, with emphasis on NT10 and NT12, which were similar to NV, evidencing the influence of system time on N-cycling. The time of implantation of up to 12 years of NT was not sufficient to cause significant changes of SOC in the soil. The microbial C content was similar among all soils under NT. The NT over time caused small changes in the biological attributes of the soil, suggesting that over time the system can promote the soil similarity to its original conditions after conversion to production systems.

**Keywords:** Management systems. Microbial activity of soil. N Forms.



## SUMÁRIO

**LISTA DE TABELAS**

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

**RESUMO**

**ABSTRACT**

**1 CONTEXTUALIZAÇÃO .....9**

**REFERÊNCIAS .....12**

**2 CAPÍTULO I - MINERALIZAÇÃO E NITRIFICAÇÃO DO NITROGÊNIO NO SOLO SOB CRONOSSEQUÊNCIA DE SISTEMA PLANTIO DIRETO NA AMAZÔNIA ORIENTAL**

**RESUMO**

**ABSTRACT**

**2.1 Introdução .....15**

**2.2 Material e Métodos .....17**

2.2.1 Localização das áreas de estudo .....17

2.2.2 Histórico das áreas estudadas .....18

2.2.3 Amostragem e preparo do solo .....20

2.2.4 Caracterização físico-química do solo .....21

2.2.5 N total e microbiano .....22

2.2.6 N mineral e taxas líquidas de mineralização (TLM) e nitrificação (TNL) .....22

2.2.7 Delineamento experimental e Análise estatística .....23

**2.3 Resultados e Discussão .....23**

2.3.1 Caracterização do solo .....23

2.3.1.1 Caracterização química .....23

2.3.1.2 Caracterização física .....25

2.3.2 Nitrogênio total ( $N_{total}$ ) e Nitrogênio microbiano ( $N_{mic}$ ) .....27

2.3.3 Relação  $N_{total}:N_{mic}$  .....31

2.3.4 Nitrogênio mineral ( $NO_3^-$  e  $NH_4^+$ ) .....32

2.3.5 Taxa líquida de mineralização (TLM) e nitrificação (TLN) .....37

**2.4 Conclusões .....39**

**REFERÊNCIAS .....40**

### **3 CAPÍTULO II – BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO SOB CRONOSSEQUÊNCIA DE SISTEMA PLANTIO DIRETO NA AMAZÔNIA ORIENTAL: UMA ABORDAGEM MULTIVARIADA**

#### **RESUMO**

#### **ABSTRACT**

<b>3.1 Introdução</b> .....	49
<b>3.2 Material e Métodos</b> .....	50
3.2.1 Área experimental .....	50
3.2.2 Clima e Solo .....	51
3.2.3 Histórico das áreas .....	51
3.2.4 Coleta de Solo .....	51
3.2.5 Análise de atributos biológicos .....	52
3.2.6 Análise estatística .....	54
<b>3.3 Resultados e Discussão</b> .....	54
3.3.1 Carbono orgânico total (COT) .....	54
3.3.2 Carbono microbiano (Cmic) .....	57
3.3.3 Quociente microbiano (qMIC) .....	59
3.3.4 Análise multivariada .....	60
3.3.4.1 Análise de variância .....	60
3.3.4.2 Análise de componentes principais .....	61
3.3.4.3 Percepção sobre a biomassa microbiana pelo procedimento de análise multivariada .....	63
<b>3.4 Conclusões</b> .....	63
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	64
<b>APÊNDICE</b> .....	68

## 1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O sistema de manejo do solo adotado e o tempo de implantação influenciam diretamente sobre o teor e a dinâmica da matéria orgânica no solo (MOS). Independentemente da magnitude da variação na quantidade da MOS, tais variações podem provocar grandes alterações sobre as propriedades e processos químicos e biológicos que ocorrem no sistema solo. Considerando a importância da MOS sobre esses processos naturais que ocorrem, houve, nos últimos anos, a intensificação de estudos que buscam avaliar as mudanças sobre as propriedades biológicas do solo ocasionadas pelo tipo e tempo do sistema de manejo adotado, para determinar o nível de desequilíbrio que estes sistemas podem causar sobre a qualidade do solo.

Em grande parte das áreas cultivadas no Brasil, e principalmente na Amazônia, o manejo do solo ainda é baseado no sistema convencional, que é caracterizado pela utilização excessiva de mecanização que antecede cada cultivo, o uso intenso de agrotóxico, a prática do monocultivo, a superfície do solo descoberta e aquecida excessivamente pelo sol, promovendo a perda da umidade e favorece a mineralização da MOS, contribuindo de forma negativa para a conservação e qualidade do solo. As perdas do estoque original da MOS quando solos de mata são convertidos para sistema de manejo convencional pode atingir 50% em períodos que variam de 15 a 23 anos (BAYER et al., 2003).

Nesse contexto, tem-se aumentado a adoção de sistemas de manejos conservacionistas, objetivando menor impacto sobre as propriedades naturais do solo. Os sistemas conservacionistas, que preconizam a menor perturbação do solo e a manutenção dos resíduos vegetais na superfície do solo, como o sistema plantio direto (SPD), tendem a aumentar o teor superficial de MOS, ao longo do tempo de adoção, resultando no aumento da fauna e da biomassa microbiana do solo (SÁ, 1999; LISBOA et al., 2012).

Desse modo, o solo é um sistema aberto que concentra resíduos orgânicos e que depende do sistema de manejo adotado como forma de preservação desses materiais orgânicos no solo. A decomposição destes materiais depende dos processos de transformação da matéria orgânica pelos micro-organismos, por meio dos quais se pode avaliar a qualidade do solo (MIELNICZUK et al., 2003).

Os atributos químicos que avaliam a MOS não são suficientemente sensíveis para sugerir alterações ocorridas no solo, principalmente, quando se trata da substituição da floresta por áreas de cultivo agrícola (MELLONI et al., 2001). Assim é necessária a avaliação

de outros atributos, tais como os biológicos, que são mais sensíveis às variações no sistema solo-planta.

Dentre os atributos biológicos, a biomassa microbiana do solo (BMS) é um dos indicadores mais sugeridos, uma vez que atua como agente de transformação da matéria orgânica e como reservatório de nutrientes nos solos. A estimativa da BMS tem possibilitado aos estudos maior entendimento sobre a transformação da matéria orgânica, o fluxo de carbono (C) e nitrogênio (N), a ciclagem de nutrientes no solo e a quantidade de nutrientes imobilizados no solo em diferentes condições ambientais (GAMA-RODRIGUES et al., 2005).

No entanto, somente as determinações da BMS não fornecem indicações acerca dos níveis de atividade da população microbiana do solo, em função da extrema heterogeneidade do ambiente. Sendo assim, é necessário selecionar indicadores que serão avaliados em conjunto com a biomassa microbiana e que fornecerão informações acerca da atividade metabólica dos micro-organismos. Particularmente, os micro-organismos presentes no solo têm suas atividades metabólicas avaliadas por meio da quantificação de CO<sub>2</sub> liberado por meio da respiração desses micro-organismos (respiração basal).

Vale ressaltar a importância do N neste contexto. As principais reações bioquímicas em plantas e micro-organismos envolvem a presença de N, o que o torna um dos elementos absorvidos em maiores quantidades pelas culturas. No solo, predomina a ocorrência de N na forma orgânica, sendo as frações inorgânicas encontradas, principalmente, na forma amoniacal (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) e nítrica (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), que são as formas assimiláveis pelas plantas (CANTARELLA, 2007). As transformações de N no solo dependem principalmente da atividade dos micro-organismos.

Desta forma, considerando as peculiaridades edafoclimáticas da Amazônia, é possível que a adoção do SPD em longo prazo promova melhorias gradativas nas condições químicas e biológicas do solo, alterando a biomassa microbiana e a atividade dos micro-organismos relacionados à disponibilidade de nutrientes como o N. Apesar de menos pronunciada nos anos iniciais da implantação do sistema, o acúmulo da MOS em Latossolo argiloso sob SPD em longo prazo pode ocasionar melhorias, em decorrência do processo de decomposição mais lenta e gradual dos resíduos orgânicos, aproximando esse solo das suas condições originais.

Portanto, o objetivo geral do estudo foi avaliar as transformações ocorridas nos indicadores biológicos do solo em razão do tempo de implantação do sistema plantio direto (SPD) na Amazônia Oriental. Para tanto, estudos específicos e complementares, divididos em dois capítulos, foram conduzidos com objetivos específicos:

## Capítulo I

- Avaliar a influência de diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto (SPD) sobre os teores e a dinâmica do nitrogênio total ( $N_{total}$ ), nitrogênio microbiano ( $N_{mic}$ ) e nitrogênio mineral ( $N_{min}$ ) de um Latossolo Amarelo na Amazônia Oriental.

## Capítulo II

- Avaliar, por meio da análise dos componentes principais, a redução na dimensionalidade de atributos biológicos do solo para a compreensão da variabilidade entre sistemas de uso de manejo do solo.

## REFERÊNCIAS

BAYER, C.; SPAGNOLLO, E.; WILDNER, L. P.; ERNANI, P. R.; ALBURQUEQUE, J. A. Incremento de carbono e nitrogênio num latossolo pelo uso de plantas estivais para cobertura do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, p. 469-475, 2003.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J.C.L. (Eds.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa, SBCS. p. 375-470. 2007.

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.

LISBOA, B. B.; VARGAS, L. K.; SILVEIRA, A. O. D.; MARTINS, A. F.; SELBACH, P. A. Indicadores microbianos de qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, G, v. 36, n. 1, p. 33-43, 2012.

MELLONI, R; PEREIRA, E. G.; TRANNIN, I. C. B.; SANTOS, D. R.; MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Características biológicas de solos sob mata ciliar e campo cerrado no sul de Minas Gerais. **Ciência Agrotécnica**, v. 25, n. 1, p. 7-13, 2001.

MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BESAN, F.M.; LOVATO, T.; FERNÁNDEZ, F.F.; DEBARBA, L. Manejo de solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. In: CURI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G.; LIMA, J.M.; LOPES, A.S.; ALVAREZ, V.H., (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v. 3, p. 209-248.

SÁ, J. C. M. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.; LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A. E.; CARVALHO, J. G. (Eds.) **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**. Viçosa, MG: SBCS :UFLA/DCS, 1999. p. 267-319.

## CAPÍTULO I

### MINERALIZAÇÃO E NITRIFICAÇÃO DO NITROGÊNIO NO SOLO SOB CRONOSSEQUÊNCIA DE SISTEMA PLANTIO DIRETO NA AMAZÔNIA ORIENTAL

#### RESUMO

Os sistemas de manejo do solo e o tempo de implantação provocam mudanças nas formas de nitrogênio (N) presentes no solo, considerando a natureza dinâmica do elemento. Na Amazônia, especialmente no Estado do Pará, são poucos os estudos que avaliam os impactos ocasionados pelos sistemas adotados, ao longo do tempo, sobre o comportamento das formas orgânicas e inorgânicas de N no solo. Objetivou-se avaliar a influência de diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto (SPD) sobre os teores e a dinâmica do  $N_{total}$ ,  $N_{mic}$  e  $N_{min}$  de um Latossolo Amarelo na Amazônia Oriental. Para isso, em Paragominas (PA), foram selecionadas áreas sob SPD com quatro (SPD4), seis (SPD6), dez (SPD10) e doze (SPD12) anos, as quais foram comparadas a uma área sob sistema convencional (SC) e outra área sob vegetação nativa (VN). Em cada uma das áreas, foram coletadas amostras nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, em duas épocas do ano (período chuvoso e seco). O solo das áreas de estudo foi classificado como Latossolo Amarelo de textura muito argilosa. Utilizou-se delineamento inteiramente casualizado, em parcelas subdivididas, com quatro repetições. As parcelas eram constituídas pelos sistemas de uso e manejo do solo e, as subparcelas, as profundidades. Foi quantificado o teor  $N_{total}$  e  $N_{mic}$ , através do método Kjeldahl,  $N-NO_3^-$  e  $N-NH_4^+$  a partir da extração com solução de KCl  $1,0 \text{ mol.L}^{-1}$  e posterior leitura no espectrofotômetro. Também foram estimadas as taxas líquidas de mineralização (TLM) e nitrificação do solo (TLN) e a relação  $N_{mic}:N_{total}$ . Os resultados mostraram que o  $N_{total}$  foi pouco alterado com o incremento do tempo de SPD, não apresentando diferença entre as idades avaliadas. Nos solos sob SPD, o  $N_{mic}$  tende a ser incrementado, preferencialmente, na camada superficial (0-5 cm), sendo os sistemas com maior tempo de implantação (SPD10 e SPD12) os maiores contribuintes dessa fração no solo. De maneira geral, o SPD incrementou maiores teores de  $N-NO_3^-$  e  $N-NH_4^+$  no solo em relação ao SC, com destaque para o SPD10 e SPD12 que foram semelhantes à VN, evidenciando a influência do tempo do sistema sobre a ciclagem do N. Independentemente do tempo do SPD e da profundidade, a forma amoniacal é a forma mineral de N predominante no solo.

**Palavras-chave:** sistemas conservacionistas; tempo de implantação; formas de N.



## CHAPTER I

### NITROGEN MINERALIZATION AND NITRIFICATION IN SOIL UNDER CHRONOSSEQUENCE NO-TILLAGE IN THE EASTERN AMAZON

#### ABSTRACT

The soil management systems and the deployment time cause changes in the forms of nitrogen (N) present in the soil, considering the dynamic nature of the element. In the Amazon, especially in the state of Pará, there are few studies that evaluate the performance of the systems adopted, over time, on the behavior of organic and inorganic forms of no soil. The objective of this study was the influence of different times of implantation of the no-tillage system (NT) on the levels and dynamics of  $N_{total}$ ,  $N_{mic}$  and  $N_{min}$  of Yellow Latosol in the Eastern Amazon. For this, the areas, in Paragominas (PA), under NT were marked with four (NT4), six (NT6), ten (NT10) and twelve (NT12) years, which were compared to an area under conventional system (CS) and another area under native vegetation (NV). In each area, samples were collected at depths of 0-5, 5-10 and 10-20 cm, at two times of the year. The soils of the study areas were classified as Yellow Latosol with a very clayey texture. A completely randomized design was used, in subdivided plots, with four replications. The plots were constituted by the systems of use and management of the soil and, as subplots, as depths. The quantification of the  $N_{total}$  and  $N_{mic}$  contents, using the Kjeldahl method,  $N-NO_3^-$  and  $N-NH_4^+$  from the  $1.0 \text{ mol.L}^{-1}$  KCl solution and subsequent reading did not spectrophotometer. They were also estimated as net rates of mineralization (SRM) and soil nitrification (SRN) and a  $N_{mic}:N_{total}$  ratio. The results were null and were altered with increasing NT time, with no differences between the evaluations. In soils under NT,  $N_{mic}$  tends to be increased, preferentially, in the superficial layer (0-5 cm), with the systems with the longest implantation time (NT10 and NT12) being the largest contributors of this fraction in the soil. In general, NT increased the  $N-NO_3^-$  and  $N-NH_4^+$  levels in the soil in relation to the CS, with emphasis on NT10 and NT12, which were called the NV, evidencing the influence of the system on N-cycling Independently of NT time and depth, an ammoniacal form is a predominant mineral form of N in the soil.

**Keywords:** conservation systems; deployment time; N forms; Yellow Latosol.



## 2.1 Introdução

O nitrogênio (N) é um dos nutrientes mais dinâmicos nos solos, em virtude de seus compostos interagirem com maior velocidade (NASCENTE et al., 2011). O estoque de N no solo depende do balanço entre as quantidades incrementadas via adubação, fixação biológica ou via planta e as perdas gasosas ou processos de lixiviação e/ou exportação da colheita (AITA, 2006).

A maior fração, que representa de 90 a 95%, do conteúdo de N é complexado na forma orgânica, sendo esta fração um reservatório de formas lábeis de N (CANTARELLA, 2007; CAMARGO et al., 2008; FAGERIA et al., 2011). A menor fração desse elemento no solo se encontra na forma mineral, condicionado a processos de mineralização e imobilização, sendo os íons  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$ , as formas predominantes encontradas. O aumento do N mineral no solo é resultante do processo de mineralização, que consiste na conversão biológica do N orgânico para a forma inorgânica, enquanto que a imobilização é o processo que consiste na assimilação do N mineral pelos micro-organismos presentes no solo e, conseqüente, redução das formas minerais de N (AMADO et al., 2000; BAUDOIN et al., 2003).

A concentração de N no solo em climas tropicais pode variar de 0,02% e 0,4% ou até 2%, em alguns solos (RANGEL; SILVA, 2007; STEVENSON, 1994). A pouca disponibilidade de N no solo aliada à grande demanda pelas plantas, faz do N um dos nutrientes mais limitantes a produtividade, uma vez que a transformação de N orgânico para as formas disponíveis é influenciada por diversos fatores ambientais (GAMA-RODRIGUES et al., 2005; CAMARGO et al., 2008).

Na região amazônica, em função de elevadas temperaturas e alta precipitação, a concentração de N mineral no solo pode ser influenciado pelo regime pluviométrico, pois além de afetar a atividade microbiana do solo (RANGEL-VASCONCELOS et al., 2005) pode ainda favorecer a permanência de N inorgânico na forma amoniacal no perfil do solo, uma vez que o íon de  $\text{NH}_4^+$  não é facilmente lixiviado e mesmo quando é mineralizado permanece no complexo trocável do solo, podendo ser absorvido pelas plantas ou oxidado para  $\text{NO}_3^-$  (RAIJ, 1991; SAINT, 2006).

O ciclo e a manutenção do N também estão estreitamente associados à matéria orgânica do solo (MOS) e à atuação da comunidade microbiana, sendo este último, agente de transformação da MOS, na ciclagem de nutrientes (DORAN & PARKIN, 1994; AMADO et al., 2001). Nos solos de baixa fertilidade natural, como em solos na Amazônia, a sustentabilidade dos sistemas está associada à capacidade de manter ou promover aumentos

na disponibilidade de nutrientes às plantas através do incremento da MO. Isto ocorre em função da MOS constituir papel fundamental na expressão da qualidade do solo, interagindo com os atributos químicos, físicos e biológicos. Nesse aspecto, a MOS é um grande controlador da dinâmica de N, constituindo sua fração ativa e potencialmente mineralizável (BONDE et al., 1988; GUEDES et al., 2012; LOURENTE et al., 2016), e o seu incremento aumenta também a proporção de N orgânico em relação às quantidades totais de N.

A permanência da MOS está relacionada com o sistema de manejo do solo adotado e sistemas conservacionistas, como o sistema plantio direto (SPD), que preconizam a menor perturbação do solo aliados a adição e manutenção dos resíduos culturais na superfície do solo, tendem a promover o aumento do teor de MOS (SÁ et al., 2001), da atividade biológica (FRANCHINI et al., 2007; SILVA et al., 2010) e, conseqüentemente, melhoria da fertilidade do solo (KARLEN et al., 2013). Além do tipo de manejo, o tempo de implantação do manejo utilizado é outro critério a ser avaliado. Para exemplificar, Sá (1995) registrou que somente a partir do quarto ano de adoção do SPD as transformações que ocorrem com o N do solo alcançam estabelecimento de equilíbrio. Em adição, Bayer et al. (2006) afirmam que nos primeiros anos após a adoção do SPD sobre cultivo convencional anterior, pode ocorrer a redução da disponibilidade de N e que somente a de 4 a 5 anos, quando o sistema se estabiliza, há aportes de N orgânico que podem ser de até  $100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . Quanto maior o tempo dos solos submetidos ao SPD, maior é a complexidade das estruturas formadas nesse solo, gerando propriedades emergentes (VEZZANI, 2001).

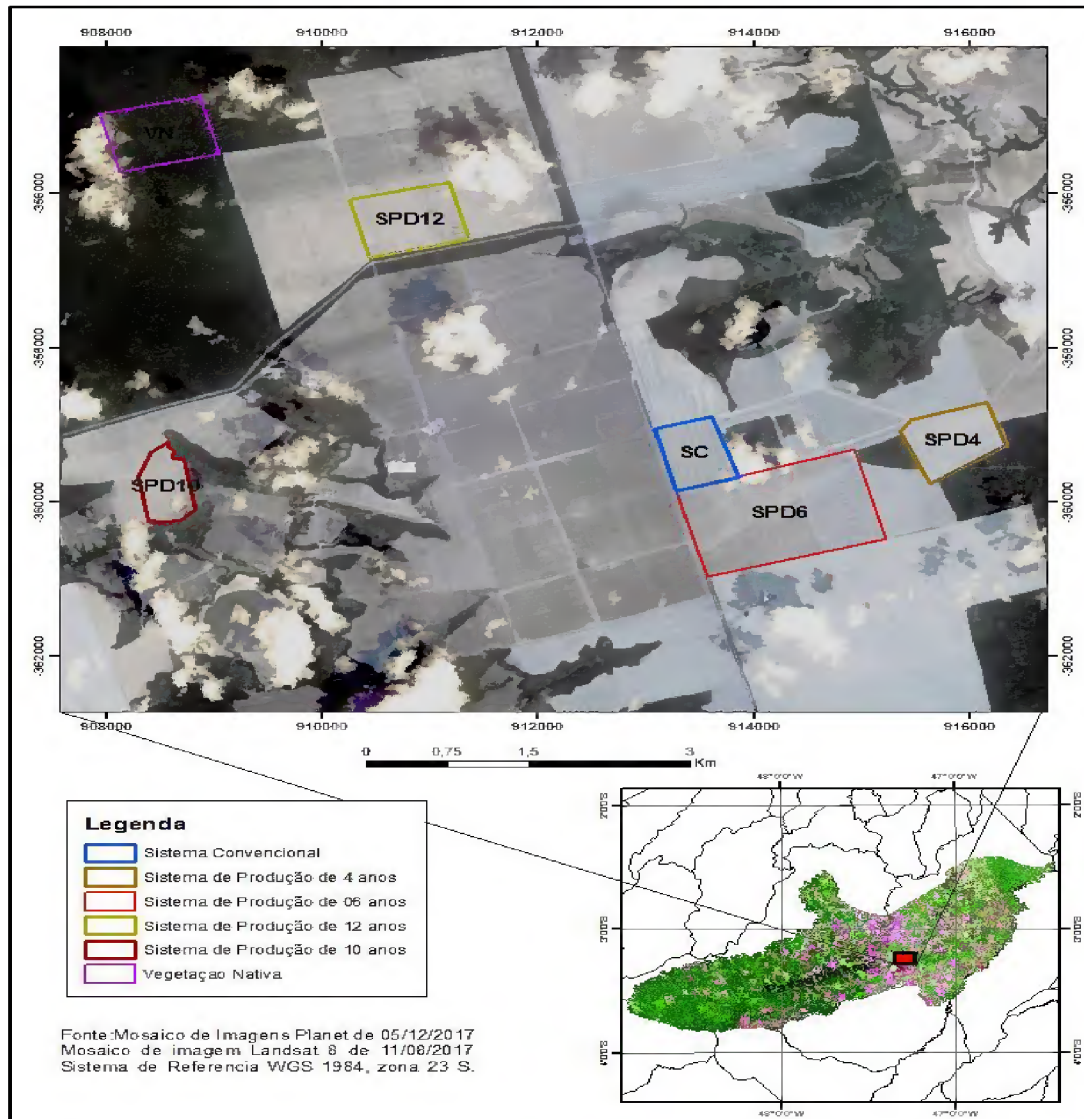
Embora haja muitos trabalhos sobre o comportamento das formas de N no solo em outras regiões, poucos são os trabalhos que tratam da evolução do SPD e seus impactos sobre a ciclagem de N em solos na Amazônia, onde normalmente extensas áreas são manejadas por meio de sistemas de manejo convencional.

O estudo é baseado na hipótese de que a adoção do SPD contribui para promover melhorias gradativas nas condições químicas e biológicas do solo e apesar de menos pronunciada nos anos iniciais da implantação do sistema, o aumento da MOS em Latossolo argiloso sob SPD, em longo prazo, é eficiente para ocasionar expressiva mudança na ciclagem do N, evitando maiores perdas do nutriente por processos naturais e fornecendo o N disponível para as plantas de forma sincronizada com as demandas das culturas, oriundas do processo de decomposição lenta e gradual dos resíduos orgânicos. Para testar esta hipótese, objetivou-se avaliar a influência de diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto sobre os teores e a dinâmica de  $N_{\text{total}}$ ,  $N_{\text{mic}}$  e  $N_{\text{min}}$  de um Latossolo Amarelo na Amazônia Oriental.

## 2.2 Material e Métodos

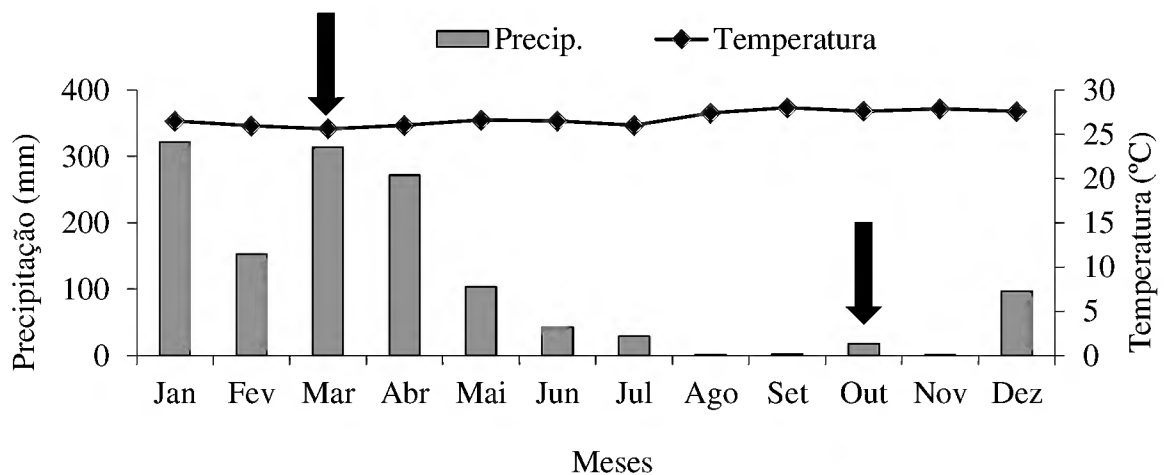
### 2.2.1 Localização das áreas de estudo

O estudo foi realizado nas Fazendas Elizabeth (Latitude: 03° 15' 30,4'' S, Longitude: 47° 16' 51,3'' W) e Michel Capelari, (Latitude: 03° 15' 11,1'' S, Longitude: 47° 16' 39,8'' W), localizadas no município de Paragominas, sudeste do Estado do Pará (Figura 1).



**Figura 1.** Imagem de satélite com indicação das áreas estudadas, em Paragominas, sudeste do Estado do Pará, registradas pelo satélite Planet. Mosaico de imagem Landsat 8 adquiridas junto ao serviço geológico americano (USGS). (Fonte: ArcGIS 10.6, UEPA).

O clima da região, conforme classificação de Köppen, é do tipo Aw, caracterizado por um clima tropical chuvoso com expressivo período de estiagem, com início da estação chuvosa em dezembro, prolongando-se até maio, com excedente de água de 282 mm e, a estação seca, com menor disponibilidade hídrica, entre junho e novembro, com déficit hídrico de 512 mm (RODRIGUES et al., 2003). A precipitação pluvial média anual é de 1.800 mm e a temperatura média anual é de 26,5° C. Os dados climáticos durante o ano da coleta encontram-se na Figura 1.



**Figura 2.** Precipitação mensal (mm) e temperatura média mensal (°C) durante o ano da coleta em Paragominas (PA), 2017.

O solo foi classificado como Latossolo Amarelo de textura muito argilosa na camada 0-20 cm (EMBRAPA, 2013).

### 2.2.2 Históricos das áreas estudadas

Os sistemas de manejo considerados neste estudo incluíram uma cronossequência sob sistema plantio direto com 4 (SPD4), 6 (SPD6), 10 (SPD10) e 12 (SPD12) anos de implantação, além de uma área sob sistema convencional (SC) e outra sob vegetação nativa (VN) utilizada como ecossistema de referência para comparação das condições originais do solo.

A área sob SC, anteriormente composta por capoeira secundária, foi convertida em agricultura em 2015 com o cultivo da soja (*Glicine max* (L.) Merr). O primeiro ano de cultivo incluiu preparo do solo com arado de discos seguido por uma grade niveladora, sendo todos os restos vegetais remanescentes incorporados ao solo e procedendo-se a correção dos níveis de acidez com calcário dolomítico (PRNT 85%). No primeiro ano também houve a correção da fertilidade do solo de acordo com a necessidade da cultura, no entanto não foram disponibilizadas informações da adubação utilizada. No segundo ano agrícola utilizou-se a

aplicação de adubação de reposição, para a cultura da soja, com 160 kg ha<sup>-1</sup> de MAP, 100 kg ha<sup>-1</sup> de superfosfato simples e 150 kg ha<sup>-1</sup> de KCl.

Historicamente, desde 2001 as áreas sob SPD são utilizadas para agricultura, porém até o momento da conversão para o SPD as áreas foram manejadas utilizando o sistema convencional, sendo convertidas somente nos anos de 2013 (SPD4), 2011 (SPD6), 2007 (SPD10) e 2005 (SPD12).

No SPD4 e SPD6 foi utilizada a mesma adubação aplicada na área sob sistema convencional, no ano da coleta, e foram cultivados dois ciclos de milho, dois de soja e um de sorgo; quatro ciclos de milho (*Zea mays* L.) e três de soja, respectivamente, nas duas áreas, durante todo o período de estabelecimento do SPD. No SPD10 e SPD12, no ano da coleta, foram aplicadas adubação de base com 160 kg ha<sup>-1</sup> de MAP e adubação de cobertura com 100 kg ha<sup>-1</sup> de KCl no último ano agrícola. De 2005 a 2017 foram cultivados um ciclo de arroz, seis de milho e quatro de soja, na área com dez anos de SPD. Na área com doze anos de SPD foram cultivados um total de oito ciclos de milho e cinco de soja.

A sequência de cultivos no período de estabelecimento das áreas sob SPD e SC estudadas está apresentada na Tabela 1.

**Tabela 1.** Sequência de rotação de culturas no período de 2005 a 2017, nos diferentes sistemas de manejo e tempos de adoção do SPD, Paragominas-PA, 2017.

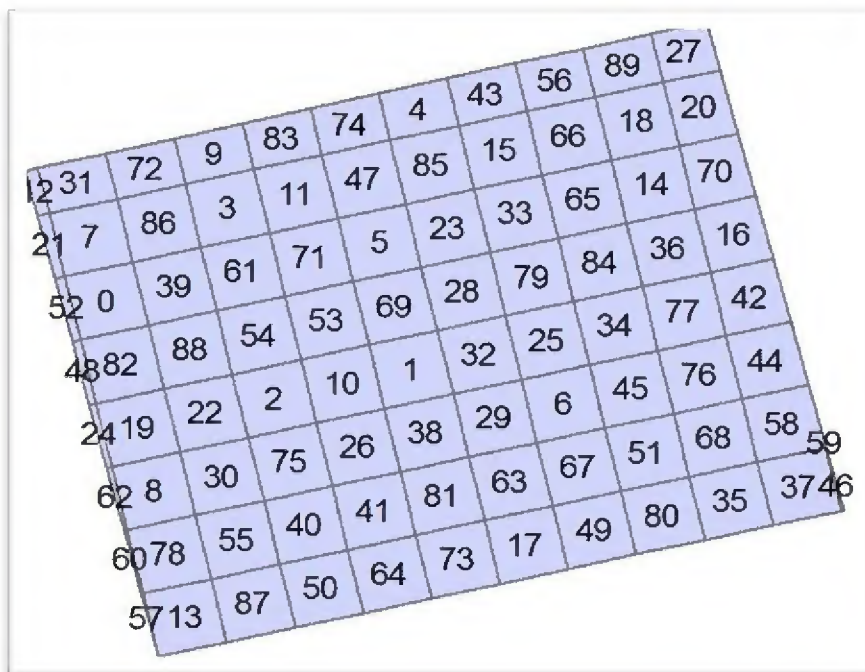
Ano	Histórico de Cultivos				
	SC <sup>1</sup>	SPD4 <sup>2</sup>	SPD6 <sup>3</sup>	SPD10 <sup>4</sup>	SPD12 <sup>5</sup>
2004/05					Milho
2005/06					Milho
2006/07				Arroz	Milho
2007/08				Milho	Soja
2008/09				Milho	Milho
2009/10				Soja	Soja
2010/11			Milho	Milho	Milho
2011/12			Milho	Soja	Soja
2012/13		Milho	Soja	Milho	Milho
2013/14		Milho	Milho	Milho	Milho
2014/15		Soja	Milho	Soja	Soja
2015/16	Soja	Sorgo	Soja	Milho	Milho
2016/17	Soja	Soja	Soja	Soja	Soja

<sup>1</sup>Sistema Convencional, <sup>2</sup>Sistema plantio direto - 4 anos, <sup>3</sup>Sistema Plantio Direto-6 anos, <sup>4</sup>Sistema Plantio Direto-10 anos, <sup>5</sup>Sistema Plantio Direto-12 anos.



### 2.2.3 Amostragem e preparo do solo

Foi realizada, inicialmente, a demarcação dos vértices dos polígonos que correspondiam a cada um dos sistemas de manejo, que já estavam previamente divididos em talhões. Foram registradas, por meio de GPS, as coordenadas geográficas de cada vértice. Em seguida, foi realizada a plotagem dessas coordenadas sobre imagem de satélite, com auxílio do software ArcGIS, para o estabelecimento de grids com quadrículas de 100 x 100 metros. Considerando a natureza ecológica do estudo e as semelhanças das condições de clima e solo das áreas, optou-se por casualizar os pontos de amostragem dentro de cada área (talhão). Portanto, as quadrículas receberam numerações e foram aleatorizadas. Esse procedimento tem sido comumente utilizado em estudos ecológicos e descrito por Hurlbert (1984). Foram definidas quatro subáreas que corresponderam às pseudo-repetições a serem amostradas, conforme a Figura 3.



**Figura 3** – Croqui da aleatorização numérica dos grids de 100x100 de cada talhão correspondente a cada área (tratamento).

**Fonte:** A autora.

As amostragens foram realizadas nos meses de março e em outubro de 2017, nas épocas chuvosa e seca, respectivamente. A primeira foi feita durante o plantio da soja e a segunda depois da colheita. Em todas as áreas foram coletadas, em ambos os períodos, amostras indeformadas nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, em anéis volumétricos, para determinação da densidade do solo.

As amostras deformadas foram coletadas, em ambas as épocas, com trado, sendo retiradas quatro amostras compostas em cada profundidade avaliada (0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm), no total de 12 amostras compostas por sistema avaliado. Cada amostra composta era constituída de 20 subamostras simples, coletadas em zig-zag dentro de cada parcela. Todos os pontos de amostragem foram georreferenciados e serviram para direcionar a segunda coleta, realizada em outubro (período seco), tendo-se seguido os mesmos critérios da primeira amostragem.

As subamostras eram colocadas em baldes, homogeneizadas em seguida armazenadas em sacos plásticos, sendo uma parte para análise química, para caracterização do solo, e outra para análise biológica. As amostras que passaram pelo processo de análise biológica foram armazenadas sob refrigeração, com objetivo de estabilizar as atividades microbiológicas.

No laboratório as amostras para análise biológica foram acondicionadas em câmara fria a  $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$  até o momento dos ensaios. Para a determinação do N microbiano e mineralização do N, as amostras foram destorroadas e homogeneizadas, retirando-se pedras e fragmentos vegetais. Em seguida foram peneiradas em malha de 2 mm. Para determinação de N total do solo, as amostras foram secas ao ar, destorroadas e peneiradas em malha de 2 mm, em seguida, moída.

#### 2.2.4 Caracterização físico-química do solo

As subamostras retiradas para a caracterização química e granulométrica do solo foram analisadas conforme metodologia descrita pela Embrapa (2011). A matéria orgânica foi determinada pelo método de Walkey e Black (1934). O fósforo (P) e o potássio (K) foram extraído por Melich1 e determinados por espectrofotometria e fotometria de chama e respectivamente. Cálcio (Ca) e magnésio (Mg) foram extraídos com KCl (1M) e determinados por titulometria. O pH foi determinado utilizando uma relação solo:água de 1:2,5. A acidez potencial (H+Al) foi extraída com acetato de cálcio a pH 7.

A granulometria também foi determinada pelo método da pipeta, na T.F.S.A (Terra fina seca ao ar). As frações foram separadas em: argila (< 0,002 mm), silte (0,002 a 0,053 mm) e areia (0,053 a 2 mm) (EMBRAPA, 2011).

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

### 2.2.5 Nitrogênio total e microbiano

O nitrogênio total do solo foi estimado pelo método Kjeldahl por destilação a vapor, conforme Embrapa (2011).

O N da biomassa foi determinado pelo método da fumigação-extração (TATE et al., 1988; VANCE et al., 1987). As amostras foram divididas em subamostras (duplicatas) de 20 g de solo cada. Parte das amostras foi submetida ao processo de fumigação, seguida de extração, e a outra parte somente ao processo de extração. As amostras foram fumigadas com clorofórmio ( $\text{CHCl}_3$ ) isento de etanol, por 72 horas, em dessecador mantido sob vácuo, livre de luminosidade e, em seguida, retiradas e extraídas, paralelo as amostras não fumigadas. A extração de ambas as amostras foi com adição de 50 mL  $\text{K}_2\text{SO}_4$  (0,5M), por amostra de solo em mesa agitadora horizontal a 180 rpm durante 30 minutos, decantação e filtragem em papel filtro.

O N contido nos extratos fumigados e não-fumigados foi determinado pelo método Kjeldahl (BROOKES et al., 1985). Do extrato obtido, foram pipetados 10 mL, adicionados 1mL de  $\text{H}_2\text{O}_2$  30% e 2 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado em tubos de digestão, aos quais foram levados ao bloco a  $110^\circ\text{C}$  até a redução do volume para 5 mL. Posteriormente as amostras foram conduzidas ao bloco digestor a temperatura de  $250^\circ\text{C}$  até atingir o clareamento da solução (cor amarelo-esverdeado), em seguida aumentou-se a temperatura para  $350^\circ\text{C}$ , que ao alcançar a estabilização, permaneceu nesta temperatura por 2h. Após o resfriamento do tubo, completou-se com 5 mL de água destilada. Em seguida as amostras foram destiladas (Kjeldahl), e tituladas com HCl a  $0,005 \text{ mol L}^{-1}$ .

O N microbiano foi calculado pela fórmula:  $\text{N da biomassa} = (\text{NF} - \text{NNF}) K_c^{-1}$ , onde NF e NNF são as quantidades totais de N liberado dos solos fumigados e não fumigados, respectivamente, e o  $K_c$  é o fator de correção utilizado. O fator de correção, que é uma constante que representa a proporção do N da biomassa microbiana que é mineralizada, foi igual a 0,54 (BROOKES et al., 1985).

### 2.2.6 Nitrogênio mineral e taxas líquidas de mineralização (TLM) e nitrificação (TNL)

A extração do N inorgânico ( $\text{N-NO}_3$  e  $\text{NH}_4^+$ ) do solo foi realizada conforme metodologia descrita por Cantarella e Trivelin (2001), que consiste na extração utilizando solução de KCl (1M). A determinação nos extratos foi realizada pelo método colorimétrico, de acordo com a metodologia simplificada proposta por Keeney (1982) e método do salicilato por Yang et al. (1998) para as concentrações de  $\text{N-NH}_4^+$  e  $\text{N-NO}_3$ , respectivamente.



As taxas líquidas de mineralização (TML) foram obtidas pela diferença entre as concentrações de N-inorgânico ( $\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$ ) antes e após sete dias de incubação, a 25° C. O mesmo foi realizado para as taxas líquidas de nitrificação (TNL), que consistiram na diferença entre os teores iniciais e finais de  $\text{NO}_3^-$ , após sete dias de incubação.

### 2.2.7 Delineamento experimental e Análise estatística

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, no esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. As parcelas eram constituídas pelos sistemas de manejo e as subparcelas, as profundidades.

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANAVA), sendo os fatores o tipo de sistema de manejo do solo, a profundidade e a época de coleta. As médias foram comparadas pelo teste de Scott Knott ( $p < 0,05$ ) por meio do software SISVAR, versão 5.6 (FERREIRA, 2011).

## 2.3 Resultados e Discussão

### 2.3.1 Caracterização do solo

#### 2.3.1.1 Caracterização química

A acidez ativa do solo foi alterada pelo tipo de uso e manejo do solo, cujos valores de pH variaram de 5,1 a 6,1; 5,0 a 6,2; e 4,7 a 5,9 nas camadas 0-5, 5-10 e 10-20 cm, respectivamente, podendo ser classificada como acidez fraca e elevada, típicos em Latossolos da Amazônia que são solos ácidos (ALVAREZ V et al., 1999).

Os valores mais altos de pH observados em solos sob SC em relação a área de VN (Tabela 2), em todas as camadas avaliadas, está relacionada a prática da calagem comumente realizada em áreas sob cultivo e a incorporação do calcário nas primeiras camadas (0-20 cm) do solo, práticas as quais não são realizadas em ambientes sem interferência antrópica. Em solos sob menor tempo de SPD (SPD4 e SPD6) também foram registrados valores mais altos de pH em relação à VN. Isto pode estar associado ao tempo curto de implantação do sistema e o efeito residual da calagem. Esses valores estão dentro da faixa observados por Lopes et al. (2015) em Paragominas (PA), em área de floresta, sistema convencional e SPD com 4 e 8 anos de implantação.

**Tabela 2.** Caracterização química de um Latossolo Amarelo nas áreas de vegetação nativa (VN), sistema convencional e áreas com 4, 6, 10 e 12 anos de SPD em diferentes profundidades, Paragominas (PA).

Sistemas de Manejo	pH	H+Al	P disp.	K	Ca+Mg	CTC	MOS
	H <sub>2</sub> O	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>		cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>		g kg <sup>-1</sup>
0-5 cm							
VN <sup>1</sup>	5,4	3,84	5,0	0,27	12,0	16,2	88,1
SC <sup>2</sup>	6,0	4,25	5,0	0,19	6,7	11,80	36,9
SPD4 <sup>3</sup>	6,1	5,41	28,0	0,27	6,6	12,33	41,9
SPD6 <sup>4</sup>	6,1	6,07	25,0	0,24	7,6	13,95	42,4
SPD10 <sup>5</sup>	5,2	5,61	18,0	0,27	4,5	10,43	43,3
SPD12 <sup>6</sup>	5,1	5,24	14,0	0,24	5,4	10,74	43,5
5-10 cm							
VN	5,4	3,55	3,0	0,17	6,8	10,6	45,3
SC	5,9	4,58	5,0	0,17	6,7	11,4	36,1
SPD4	5,9	4,66	25,0	0,32	5,7	10,71	41,1
SPD6	6,2	5,65	16,0	0,27	5,5	11,45	38,2
SPD10	5,0	5,61	26,0	0,24	3,8	9,72	38,3
SPD12	5,0	5,15	16,8	0,23	4,2	9,60	33,2
10-20 cm							
VN	5,4	4,62	2,0	0,11	4,3	9,3	29,0
SC	5,9	5,90	4,0	0,16	5,8	11,9	33,7
SPD4	5,5	5,78	23,0	0,28	3,7	11,1	34,5
SPD6	5,5	5,45	12,0	0,23	3,2	8,92	30,1
SPD10	4,7	5,03	11,0	0,16	2,5	7,76	26,7
SPD12	4,7	4,37	9,4	0,18	3,3	7,86	24,6

<sup>1</sup>Vegetação nativa, <sup>2</sup>Sistema Convencional, <sup>3</sup>Sistema plantio direto - 4 anos, <sup>4</sup>Sistema Plantio Direto-6 anos, <sup>5</sup>Sistema Plantio Direto-10 anos, <sup>6</sup>Sistema Plantio Direto-12 anos.

A acidez potencial (H+Al) variou de 4,25 a 6,07 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> e 4,58 a 5,65 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> em solos sob SC e SPD nas camadas 0-5 e 5-10 cm, respectivamente. Na camada 10-20 cm os menores valores foram encontrados em solos sob SPD, independentemente do tempo de adoção do sistema, enquanto o maior foi observado no SC. Esses resultados sugerem que a matéria orgânica do solo pode constituir uma fonte de acidez potencial em solos tropicais, principalmente em solos caracterizados por formação de resíduos orgânicos acumulados (CANELLAS et al., 2003).

A CTC variou de 7,7 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> em solo sob SPD10 na profundidade 10-20 cm a 16,2 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> sob VN na camada de 0-5 cm, em função do manejo e da profundidade. A redução da CTC com o aumento da profundidade é comumente observada, uma vez que a magnitude da CTC de solos é resultante dos colóides minerais e orgânicos e do pH do solo (BRADY; WEIL, 2008).

Em relação ao fósforo (P) disponível, a conversão da vegetação nativa em áreas sob cultivo convencional e sistema plantio direto promoveram alterações em todas as camadas avaliadas, variando de  $2 \text{ mg.dm}^{-3}$  em solo sob VN na profundidade de 10-20 cm a  $28 \text{ mg.dm}^{-3}$  sob SPD4 na profundidade 0-5 cm. O P é um dos elementos mais restritos e chave em solos amazônicos e os teores altamente superiores em solos sob cultivo podem estar relacionados às adubações realizadas nessas áreas. Conforme o aumento da idade do SPD, para as camadas 0-5 e 10-20 cm, os teores de P diminuíram, sendo os menores valores encontrados em solos sob SPD com 12 anos de implantação.

Observando a disponibilidade do P ao longo do perfil do solo, registraram-se as maiores concentrações na camada superficial de 0-5 cm e decréscimo com a profundidade nas áreas de vegetação nativa e sistema plantio direto (exceção do SPD10, que foi na profundidade de 5-10 cm). Este resultado corrobora com os resultados encontrados por Sá (1993) e Rheinheimer et al. (1998), onde o P tendeu a ser acumulado nas camadas mais superficiais do solo no SPD.

A maior disponibilidade de P na camada superficial é decorrente da aplicação de fertilizantes fosfatados, da liberação de P orgânico, proveniente da biomassa aérea distribuição predominante em superfície, o qual é mineralizado e adicionado ao solo nesta profundidade (SÁ, 1993; SÁ, 1995; SÁ, 1999; CAIRES, 2000; SOUSA & LOBATO, 2000).

#### 2.3.1.2 Caracterização física

Os sistemas de manejo solo promoveram alterações na densidade do solo (Ds), quando comparados a VN. Os valores de densidade do solo (Ds) variaram de  $0,92$  a  $1,22 \text{ g.cm}^{-3}$  (Tabela 3). Na camada superficial (0-5 cm), os menores valores corresponderam ao VN, seguindo-se ao SC, SPD4, SPD6, SPD10 e SPD12. Na profundidade de 5-10 cm, somente as áreas de SPD6 ( $1,17 \text{ g.cm}^{-3}$ ) e SPD12 ( $1,21 \text{ g.cm}^{-3}$ ) apresentaram maior densidade em comparação a área de VN ( $1,15 \text{ g.cm}^{-3}$ ). Na profundidade de 10-20 cm, a densidade variou de  $1,12 \text{ g.cm}^{-3}$ , em solo sob SC a  $1,22 \text{ g.cm}^{-3}$  em área do SPD12.

**Tabela 3.** Características físicas do solo sob vegetação nativa, sistema convencional, sistema plantio direto com 4,6, 10 e 12 anos em Latossolo Amarelo, Paragominas (PA).

Sistema de manejo	Prof (cm)	Ds g cm <sup>-3</sup>	Areia	Silte g kg <sup>-1</sup>	Argila
VN <sup>1</sup>	0-5	0,92	35	250	715
	5-10	1,14	32	188	780
	10-20	1,14	27	143	830
SC <sup>2</sup>	0-5	0,98	42	263	695
	5-10	1,01	39	261	700
	10-20	1,12	35	270	700
SPD4 <sup>3</sup>	0-5	1,08	42	338	620
	5-10	1,13	41	284	675
	10-20	1,14	34	166	800
SPD6 <sup>4</sup>	0-5	1,13	46	354	600
	5-10	1,17	43	262	695
	10-20	1,19	35	245	720
SPD10 <sup>5</sup>	0-5	1,17	43	238	720
	5-10	1,14	47	208	745
	10-20	1,21	43	172	785
SPD12 <sup>6</sup>	0-5	1,22	32	244	725
	5-10	1,21	31	174	795
	10-20	1,22	30	174	796

<sup>1</sup>Vegetação nativa, <sup>2</sup>Sistema Convencional, <sup>3</sup>Sistema plantio direto - 4 anos, <sup>4</sup>Sistema Plantio Direto-6 anos, <sup>5</sup>Sistema Plantio Direto-10 anos, <sup>6</sup>Sistema Plantio Direto-12 anos.

A menor densidade do solo observada na camada superficial (0- 5 cm) em área sob VN em relação às áreas sob cultivo provavelmente está associada à menor pressão mecânica sobre o solo, menor ação antrópica e maior quantidade de matéria orgânica encontrada nesse ambiente (ARATANI et al., 2009).

Em todas as profundidades, a densidade do solo foi inferior no SC com relação às áreas de SPD. Maiores densidades do solo sob SPD são observadas em muitos estudos e podem ser originados do adensamento natural de solos sob SPD em razão da ausência de revolvimento do solo e do tráfego de máquinas (CARNEIRO et al., 2009).

Nas áreas estudadas os solos sob os diferentes tipos de uso e manejo são do tipo Latossolo Amarelo de textura muito argilosa (argila>70%). Para estes perfis observa-se tendência de aumento gradativo do conteúdo da fração argila em profundidade que variou de 600 a 725 g kg<sup>-1</sup>, 675 a 795 g kg<sup>-1</sup> e 700 a 830 g kg<sup>-1</sup>, para as camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, respectivamente.

A fração argila aliada a diversos outros fatores do solo determinam a capacidade desse solo de manter determinadas interações, uma vez que esta fração é bastante ativa quimicamente, tem grande afinidade por água e elementos químicos em virtude de suas numerosas cargas elétricas, principalmente as negativas, presentes na sua vasta superfície específica (FONTES, 2001; LEPSCH, 2002).

### 2.3.2 Nitrogênio total ( $N_{total}$ ) e Nitrogênio microbiano ( $N_{mic}$ )

Os teores de  $N_{total}$  em função do uso e manejo do solo nas profundidades avaliadas e nas épocas de coleta estão apresentados na Tabela 4. Houve efeito significativo dos sistemas de uso e manejo do solo e da profundidade isoladamente, bem como a interação dos dois fatores sobre o conteúdo de  $N_{total}$  no solo. Não houve influência da época de amostragem.

**Tabela 4.** Nitrogênio total ( $N_{total}$ ) em solos sob diferentes sistemas de uso e manejo do solo, em duas épocas do ano e nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm.

Prof. (cm)	<sup>1</sup> VN	<sup>2</sup> SC	<sup>3</sup> SPD4	<sup>4</sup> SPD6	<sup>5</sup> SPD10	<sup>6</sup> SPD12	<sup>7</sup> CV (%)
$N_{total}$ g kg <sup>-1</sup>							
Chuvosa							
0-5	2,92aA	1,62bA	1,59bA	1,64bA	1,76bA	1,76bA	18,35
5-10	1,80aB	1,66aA	1,49bA	1,46bA	1,51bB	1,59bA	
10-20	1,33aC	1,46aA	1,27bB	1,20bB	1,18bC	1,11bB	
Média	2,02a	1,58b	1,45b	1,43b	1,48b	1,48b	
Seca							
0-5	2,84aA	1,53bA	1,72bA	1,77bA	1,87bA	1,87bA	20,45
5-10	2,47aB	1,44bA	1,62bA	1,60bA	1,56aB	1,59bB	
10-20	2,05aC	1,43bA	1,28bB	1,20bB	1,24bC	1,22bC	
Média	2,45a	1,46b	1,54b	1,52b	1,56b	1,56b	

Letras minúsculas nas linhas comparam os sistemas de uso e manejo do solo e letras maiúsculas nas colunas comparam as profundidades sob o mesmo sistema; as médias são comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5%. <sup>1</sup>Vegetação Nativa. <sup>2</sup>Sistema convencional. <sup>3</sup>Sistema Plantio direto – 4 anos. <sup>4</sup>Sistema Plantio direto – 6 anos. <sup>5</sup>Sistema Plantio direto – 10 anos. <sup>6</sup>Sistema Plantio direto – 12 anos. <sup>7</sup>Coeficiente de variação.

De modo geral, independentemente da camada avaliada, o conteúdo de  $N_{total}$  no solo apresentou pouca variação em função dos sistemas de uso e manejo do solo, com exceção da área sob VN que foi superior ( $p < 0,05$ ) aos demais sistemas avaliados. Teores semelhantes de  $N_{total}$  entre o SC e os solos sob SPD pode estar associado a possíveis relações proporcionais dos atributos do solo ( $N_{mic}$  e  $N_{min}$ ), compensação entre camadas ou a fertilização nitrogenada que contribui para a manutenção dos estoques de N no solo.

No entanto, se destaca a esperada diminuição de  $N_{total}$  conforme o aumento da profundidade no perfil do solo que foi na ordem de  $1,88 \text{ g kg}^{-1}$ ,  $1,58 \text{ g kg}^{-1}$  e  $1,25 \text{ g kg}^{-1}$ , nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm e  $1,93 \text{ g kg}^{-1}$ ,  $1,71 \text{ g kg}^{-1}$  e  $1,40 \text{ g kg}^{-1}$  nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, no período chuvoso e seco, respectivamente, considerando todos os sistemas. Estes resultados confirmam a relação do conteúdo de  $N_{total}$  associado ao teor e dinâmica da matéria orgânica no solo (ARATANI et al., 2009).

Na camada 0-5 cm, os teores de  $N_{total}$  foram significativamente superiores na área sob VN em relação às áreas sob cultivo, que não diferiram entre si. Contudo, mesmo não havendo diferença significativa, foi observada uma tendência de aumento no  $N_{total}$  em superfície com o incremento a partir do 6º ano de implantação do SPD em relação ao SC. Isto, possivelmente, pode ser devido a maior quantidade acumulada de resíduos vegetais com o tempo de implantação do SPD e o maior contato desses resíduos, preservados em superfície do solo, que são fontes de matéria orgânica e consequentemente fonte de nutrientes como o N (SILVA & MENDONÇA, 2007). Nas camadas mais profundas de 5-10 e 10-20 cm, os maiores valores foram encontrados nas áreas sob VN e SC, não havendo diferença entre esses dois sistemas, e os menores valores nas áreas sob SPD.

O maior teor de  $N_{total}$  na camada 0-5 cm se deve ao maior acúmulo de matéria orgânica na camada superficial, decorrente da decomposição de restos vegetais. D'Andréa et al. (2004), estudando solos sob diferentes sistemas de manejo do solo observaram também decréscimo do nitrogênio total conforme o aumento da profundidade.

A distribuição de  $N_{total}$  em camadas foi mais homogênea no SC, não havendo diferença entre camadas, enquanto que nas áreas sob VN e SPD foram observadas estratificações. Em SC, portanto, pode estar relacionado à prática do revolvimento do solo que contribui para a adição de N ao solo em camadas, em função de 95% do N está associado aos esqueletos de C da MOS (SILVA & MENDONÇA, 2007).

Nas camadas 5-10 e 10-20 cm o  $N_{total}$  na área de VN não diferiu do SC, na época chuvosa, e foram maiores que nas áreas sob SPD. Por outro lado, na época seca, somente houve diferença entre a VN e os demais sistemas, que não diferiram entre si.

O  $N_{mic}$  variou significativamente em função do sistema para as profundidades avaliadas, sem diferença significativa entre as duas épocas de coleta (Tabela 5).



**Tabela 5.** Nitrogênio microbiano ( $N_{mic}$ ) em solos sob diferentes sistemas de uso e manejo do solo, em duas épocas do ano e nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm.

Prof. (cm)	<sup>1</sup> VN	<sup>2</sup> SC	<sup>3</sup> SPD4	<sup>4</sup> SPD6	<sup>5</sup> SPD10	<sup>6</sup> SPD12	<sup>7</sup> CV (%)
$N_{mic}$ (mg kg <sup>-1</sup> )							
Chuvosa							
0-5	129,45aA	38,35dA	60,58cA	63,70cA	80,55bA	80,78bA	
5-10	86,05aB	26,93cA	51,94bA	52,18bA	57,73bB	57,96bB	19,86
10-20	78,08aC	30,66bA	52,18bA	44,77bA	43,42bB	42,65bB	
Média	97,86a	31,98c	54,90b	53,55b	60,57b	60,46b	
Seca							
0-5	121,74aA	28,30dA	65,32cA	68,65cA	83,45bA	84,66bA	
5-10	91,05aB	23,91cA	51,70bB	52,43bB	59,42bB	59,99bB	19,72
10-20	77,27aC	20,51cA	51,25bB	45,52bB	46,08bC	45,30bC	
Média	96,69a	24,24b	56,09a	55,53a	62,98a	63,32a	

Letras minúsculas nas linhas comparam os sistemas de uso e manejo do solo e letras maiúsculas nas colunas comparam as profundidades sob o mesmo sistema; as médias são comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5%. <sup>1</sup>Vegetação Nativa. <sup>2</sup>Sistema convencional. <sup>3</sup>Sistema Plantio direto – 4 anos. <sup>4</sup>Sistema Plantio direto – 6 anos. <sup>5</sup>Sistema Plantio direto – 10 anos. <sup>6</sup>Sistema Plantio direto – 12 anos. <sup>7</sup>Coefficiente de variação.

Em geral, os teores médios de  $N_{mic}$  observados no solo sob VN foram superiores aos registrados nos diferentes tempos de SPD, que não diferiram entre si, mas que por sua vez foram maiores que no SC. A deposição de resíduos orgânicos em maior volume, grande quantidade de raízes e maior quantidade de água retida no solo nas condições de vegetação nativa, estimulam a manutenção da microbiota do solo. Por outro lado, solos submetidos à atividade agrícola, dependendo do sistema de manejo adotado, tendem a apresentar condições adversas que, normalmente, fazem a população decrescer (PEREZ et al., 2004). Como exemplo, Patra et al. (1990) afirmam que a falta de uniformidade no sistema de manejo adotado ocasiona flutuações na biomassa microbiana do solo, que é influenciada pela temperatura do solo e adição de resíduos vegetais. Isto sugere que áreas menos perturbadas, como o SPD, que preconizam a manutenção de resíduos vegetais na superfície do solo, enriquecendo-o com matéria orgânica, reduzem os impactos negativos que possam advir do manejo intensivo sobre a atividade dos micro-organismos, ocasionando maior teor de  $N_{mic}$  microbiano, que indicam maior imobilização de N na biomassa microbiana.

Os valores de  $N_{mic}$  nas três profundidades estudadas mostram diferença significativa, na VN, SPD10 e SPD12, entre as duas primeiras camadas, registrando-se tendência de declínio dos valores com o aumento da profundidade. Isto confirma os resultados encontrados por outros autores (PEREZ et al., 2004; GAMA-RODRIGUES, 2005; LOPES et al., 2011), que relacionaram a maior concentração  $N_{mic}$  preferencialmente em superfície em função do

maior aporte de N proveniente dos exsudatos de raízes e de resíduos vegetais na superfície do solo que são facilmente imobilizados pela microbiota do solo.

Os sistemas de manejo modificaram significativamente as quantidades de  $N_{mic}$  na camada 0-5 cm, sendo a maior concentração registrada na área de VN ( $129,44 \text{ mg kg}^{-1}$ ) e a menor no SC ( $38,35 \text{ mg kg}^{-1}$ ), independente da época de coleta. Dentre os solos sob SPD, os maiores valores de  $N_{mic}$  foram registrados após 10 anos de condução do SPD (SPD10 e SPD12) em relação aos SPD4 e SPD6, que não diferiram entre si. Tomando como referência o solo mantido sob condições naturais, observou-se que nem mesmo o SPD com maior tempo de implantação (12 anos) foi suficiente para promover semelhança quanto ao teor de  $N_{mic}$ , porém o SPD12 foi sistema que mais se aproximou das condições da área sob VN, indicando que o SPD ao longo do tempo, garante o funcionamento da atividade biológica do solo conseguindo restabelecer a BMS.

Dentre os fatores que podem ser responsáveis por condições mais favoráveis em sistemas naturais que estimulam a manutenção da biomassa microbiana, destacam-se a grande quantidade de raízes, que proporciona maior entrada de substratos orgânicos no sistema, via exsudatos radiculares, ausência de preparo do solo, maior diversidade florística (WARDLE & HUNGRIA, 1994), deposição contínua de resíduos orgânicos, a presença de vegetação o ano todo que influencia na quantidade e qualidade de serrapilheira que, conseqüentemente, condicionam menor variação de temperatura e umidade no solo. (PEREZ et al., 2004; MATSUOKA et al., 2003).

O teor de  $N_{mic}$  maior no SPD do que no SC sugere uma melhor condição para a biomassa microbiana do solo e menor perda do N para o sistema. O comportamento de níveis mais elevados em longo prazo no SPD também reafirma a eficiência do sistema com o incremento do tempo (VENZKE FILHO et al., 2008).

Em relação ao SC, o SPD proporcionou aumento de 57,9; 66,1; 110 e 110,6% no teor de  $N_{mic}$  com o SPD4, SPD6, SPD10 e SPD12, respectivamente, no período chuvoso. No período seco, na mesma profundidade, o aumento foi de 131; 142; 195 e 199,1% para os SPD4, SPD6, SPD10 e SPD12 em relação ao SC. Esse fato sugere que o tempo de adoção do SPD contribuiu com a constância de N-imobilizado no solo na forma microbiana nesta camada (LOPES et al., 2011).

Na camada 5-10 cm, a VN obteve maior concentração de  $N_{mic}$  e o uso de SPD proporcionou superioridade no teor de  $N_{mic}$  em relação ao SC, no entanto, não houve diferença entre os diferentes tempos de implantação do sistema. Enquanto que na camada mais profunda (10-20 cm) não se verificou efeito dos sistemas sobre os teores  $N_{mic}$ , à exceção



da VN no período chuvoso. Enquanto no período seco, a VN promoveu maior  $N_{mic}$  seguido das áreas sob SPD, que não diferiram entre si, e SC.

### 2.3.3 Relação $N_{mic}:N_{total}$

A relação  $N_{mic}:N_{total}$  variou de 2,12 a 5,89 % (Tabela 6). Esses percentuais estão próximos aos encontrados por Smith & Paul (1990), que afirmam que este percentual se mantém entre 1 e 5%.

**Tabela 6.** Relação  $N_{mic}:N_{total}$  (%) em solos sob diferentes sistemas de uso e manejo do solo, em duas épocas do ano e nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm.

Prof. (cm)	<sup>1</sup> VN	<sup>2</sup> SC	<sup>3</sup> SPD4	<sup>4</sup> SPD6	<sup>5</sup> SPD10	<sup>6</sup> SPD12	<sup>7</sup> CV (%)
$N_{mic}:N_{total}$ (%)							
Chuvosa							
0-5	4,50aB	2,34bA	3,82aA	3,89aA	4,58aA	4,60aA	
5-10	4,78aB	1,64bA	3,48aA	3,59aA	3,83aA	3,63aA	19,56
10-20	5,89aA	2,12cA	4,11bA	3,75bA	3,67bA	3,83bA	
Média	5,05a	2,03c	3,80b	3,74b	4,02b	4,01b	
Seca							
0-5	4,35aA	1,85bA	3,81aA	3,87aA	4,47aA	4,52aA	
5-10	3,75aA	1,75bA	3,20aA	3,27aA	3,85aA	3,80aA	17,75
10-20	3,82aA	1,43bA	4,02aA	3,84aA	3,72aA	3,72aA	
Média	3,97a	1,67b	3,68a	3,66a	4,01a	4,01a	

Letras minúsculas nas linhas comparam os sistemas de uso e manejo do solo e letras maiúsculas nas colunas comparam as profundidades sob o mesmo sistema; as médias são comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5%. <sup>1</sup>Vegetação Nativa. <sup>2</sup>Sistema convencional. <sup>3</sup>Sistema Plantio direto – 4 anos. <sup>4</sup>Sistema Plantio direto – 6 anos. <sup>5</sup>Sistema Plantio direto – 10 anos. <sup>6</sup>Sistema Plantio direto – 12 anos. <sup>7</sup>Coefficiente de variação.

A relação  $N_{mic}:N_{total}$  expressa a eficiência da BMS em imobilizar N, conforme a qualidade nutricional da MOS (GAMA- RODRIGUES, 2005; COSER et al., 2007; MATOSO et al., 2012). Esta relação oferece uma estimativa indireta da qualidade da MOS, através da quantificação de nutrientes, disponibilidade de substrato e a dinâmica da matéria orgânica, portanto, quanto menor o valor desta relação menor é a qualidade da serrapilheira (WARDLE, 1992; DE-POLLI et al., 1999).

De modo geral, a maior proporção de  $N_{mic}:N_{total}$  ocorreu na área sob VN, no período chuvoso, enquanto no período seco esta relação não apresentou diferença nos solos sob VN e SPD, independente do tempo de implantação. A menor razão foi observada no SC, em ambos os períodos avaliados.

A maior proporção  $N_{mic}:N_{total}$  em solos sob SPD em relação ao SC demonstra que a perturbação mínima do solo podem auxiliar na retenção de N no sistema (MATOSO et al., 2012). Por outro lado, a relação baixa de  $N_{mic}:N_{total}$  encontrada no SC pode estar associada às condições de estresse do meio ambiente, provocados, principalmente, por acidez do solo, temperatura elevada, compactação do solo, baixa qualidade nutricional do CO e pelo manejo do solo, que podem reduzir a capacidade da biomassa microbiana na utilização do N (BARBOSA, 2010; LOPES et al., 2011). Em solos altamente intemperizados com pH baixo, como os da área de estudo, o CO sofre decomposição e mineralização rápida, o que resulta em um baixo suprimento de nutrientes no solo. Por outro lado, a adição de matéria orgânica de melhor qualidade aumenta a biomassa microbiana e altera a ação dos fatores limitantes para uma condição mais adequada no solo (GAMA-RODRIGUES & GAMA-RODRIGUES, 2008).

Em todos os sistemas avaliados, em profundidade, não houve diferença, exceto na área sob VN, no período chuvoso, que apresentou aumento da relação  $N_{mic}:N_{total}$ , com maior proporção na camada 10-20 cm em relação as demais.

Neste estudo, em todas as camadas, independentemente da época de coleta, os solos sob SPD foram igualmente eficientes quanto à imobilização de N pela microbiota do solo, à exceção da camada 10-20 cm no período chuvoso. Enquanto que o SC foi inferior em todas as camadas e épocas estudadas.

Uma vez que o  $N_{total}$  foi semelhante entre as áreas de SC e SPD, o maior valor deste índice em áreas sob SPD é devido o  $N_{mic}$ . Os maiores valores obtidos da razão  $N_{mic}:N_{total}$  em SPD indicam que práticas conservacionistas de manejo do solo, que incluem a menor perturbação do solo e a rotação de culturas utilizando gramíneas e leguminosas, resultam em MOS com melhor qualidade nutricional (MATOSO et al., 2012). Pode-se inferir também que, esse sistema apresenta maior capacidade da microbiota do solo em armazenar frações significativas de nitrogênio em sua biomassa microbiana (WARDLE & HUNGRIA, 1994; GAMA-RODRIGUES et al., 1997).

#### 2.3.4 Nitrogênio mineral ( $N-NO_3^-$ e $N-NH_4^+$ )

##### **Nitrato ( $N-NO_3^-$ )**

Os teores de  $N-NO_3^-$  e  $N-NH_4^+$  em função do uso e manejo do solo nas profundidades avaliadas e nas épocas de coleta estão apresentados na Tabela 7 e 8, respectivamente.

Para  $\text{NO}_3^-$  no solo houve influência dos sistemas de uso de manejo do solo e da profundidade isoladamente, bem como a interação dos dois fatores. Por outro lado, não houve influência da época de amostragem.

De modo geral, o teor médio de  $\text{N-NO}_3^-$  em solo foram maiores nas áreas sob VN, SPD12 e SPD10, enquanto valores intermediários foram observados do SPD6 e SPD4 e menores valores no SC, na época chuvosa. Na época seca, os SPD12 e SPD10 foram superiores a área de VN, que apresentou teores de  $\text{N-NO}_3^-$  semelhante ao SPD6 e SPD4 (Tabela 7).

**Tabela 7.** Nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) no solo com 4, 6, 10 e 12 anos de SPD, vegetação nativa e sistema convencional, em duas épocas de amostragem, em Paragominas (PA).

Prof. (cm)	<sup>1</sup> VN	<sup>2</sup> SC	<sup>3</sup> SPD4	<sup>4</sup> SPD6	<sup>5</sup> SPD10	<sup>6</sup> SPD12	<sup>7</sup> CV (%)
$\text{NO}_3^-$ (mg (N) $\text{kg}^{-1}$ (solo))							
Chuvosa							
0-5	23,78 aA	11,96 bA	20,14 aA	22,15 aA	22,81 Aa	23,70 aA	
5-10	18,43 aB	12,60 bA	15,74 aB	16,52 aB	18,26 aB	18,39 aB	12,35
10-20	15,95 aB	10,78 bA	11,32 bC	11,60 bC	13,51 aC	14,94 aC	
Média	19,39 a	11,78 c	15,73 b	16,76 b	18,19 a	19,01 a	
Seca							
0-5	21,06aA	12,98bA	20,80aA	22,37aA	23,04aA	24,65aA	
5-10	17,26aB	11,66bA	15,80aB	16,73aB	18,76aB	18,63aB	14,17
10-20	14,37aB	10,46bA	11,36bC	11,84bC	13,62aC	15,06aC	
Média	17,56b	11,70c	15,98b	16,98b	18,47 <sup>a</sup>	19,45a	

Letras minúsculas nas linhas comparam os sistemas de uso e manejo do solo e letras maiúsculas nas colunas comparam as profundidades sob o mesmo sistema; as médias são comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5%. <sup>1</sup>Vegetação Nativa. <sup>2</sup>Sistema convencional. <sup>3</sup>Sistema Plantio direto – 4 anos. <sup>4</sup>Sistema Plantio direto – 6 anos. <sup>5</sup>Sistema Plantio direto – 10 anos. <sup>6</sup>Sistema Plantio direto – 12 anos. <sup>7</sup>Coeficiente de variação.

Maiores concentrações de  $\text{N-NO}_3^-$  encontrados no solo sob VN são resultantes do enriquecimento da cobertura vegetal, da maior quantidade de matéria orgânica em decomposição sobre o solo e da maior quantidade da microbiota do solo que colabora para reduzir a lixiviação de  $\text{N-NO}_3^-$  (COELHO et al., 1991). A semelhança entre os teores da área de VN e SPD12 e SPD10 sugerem que as áreas de SPD consolidadas favorecem a permanência de  $\text{N-NO}_3^-$  no solo, o que pode estar relacionado a uma melhor condição para o processo de nitrificação aliada às adubações realizadas nesse sistema. Alfaia et al. (2008), observaram que em um Latossolo, a adição de ureia promoveu incremento dos teores de nitrato no solo.

O comportamento superior do conteúdo de  $\text{N-NO}_3^-$  em solos sob SPD em relação ao SC, em todas as camadas avaliadas, exceto profundidade 10-20 cm, na qual o SPD4 e SPD6

não diferiram do SC, está relacionado aos acréscimos de MOS ao longo do tempo de adoção, que protegem o solo e proporcionam melhores condições químicas (SÁ, 2001; FALLEIRO et al., 2003), às transformações microbianas decorrentes da decomposição da MOS, aliado à disponibilidade de água e temperatura do solo (SÁ, 1996).

Sá et al. (2001) observaram maiores teores de N mineral ( $\text{N-NO}_3^-$  e  $\text{N-NH}_4^+$ ) em parcelas cultivadas sob SPD, destacando o tempo de adoção como contribuinte nas alterações na dinâmica das formas de N mineral no solo.

Carmo et al. (2005) afirmam que o teor de  $\text{N-NO}_3^-$  no solo se relaciona satisfatoriamente com o potencial de nitrificação do solo nas condições da Amazônia. No entanto, essa relação depende da atividade biológica do solo e do pH. Provavelmente, em SPD as condições foram melhores para o estabelecimento da ocorrência dos microrganismos nitrificadores do solo e conseqüente aumento da concentração de  $\text{N-NO}_3^-$  no solo.

Na camada superficial do solo (0-5 cm), os teores de  $\text{N-NO}_3^-$  foram superiores às demais e decresceram com o aumento da profundidade para a maioria dos sistemas avaliados, com exceção do SC. O resultado já era de se esperar, considerando que o aumento da profundidade amostrada provoca redução da atividade microbiana em virtude da baixa contribuição da MO e baixa concentração de  $\text{O}_2$  que pode ser utilizado pela BMS.

Na camada 0-5 e 5-10 cm não houve diferença entre as áreas de VN e SPD, independentemente do ano de adoção do SPD. Isso demonstra que nestas profundidades, está havendo mineralização do N total do solo e/ou do N do resíduo vegetal e/ou da nitrificação do amônio de forma semelhante entre os sistemas, aliado a menor perda de  $\text{N-NO}_3^-$  proporcionada nesses ambientes. Provavelmente, esta condição está associada a maior quantidade de MO, o que favorece a atividade e os níveis da população de micro-organismos nitrificadores. A MO é a maior reserva de N orgânico no solo, e a mineralização supre as quantidades desse nutriente durante o ciclo das culturas (MENGEL, 1996) e a manutenção das formas de N orgânico no solo impede ou minimiza a ocorrência de perdas de N por lixiviação ou desnitrificação.

Para a profundidade de 10-20 cm, os sistemas de VN, SPD12 e SPD10 apresentaram os maiores valores de  $\text{N-NO}_3^-$  em relação aos demais sistemas.

Em relação à avaliação dos sistemas e suas respectivas profundidades avaliadas, somente o SC não apresentou diferença entre as camadas, apontando uma condição de similaridade dos teores de  $\text{N-NO}_3^-$ , quando se considera o perfil do solo até a profundidade avaliada. Os solos sob SPD e VN apresentaram comportamento diferente, com redução dos teores de  $\text{N-NO}_3^-$  à medida que se tem aumento da profundidade.

### Amônio (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)

Para NH<sub>4</sub><sup>+</sup> no solo houve influência dos sistemas de uso e manejo do solo e da profundidade isoladamente, bem como a interação dos dois fatores. Por outro lado, não houve influência da época de amostragem.

De modo geral, as quantidades médias de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> foram mais elevadas na área sob VN, seguida dos demais sistemas, entre os quais não foram verificadas diferenças significativas, em ambas as épocas de amostragem (Tabela 8).

**Tabela 8.** Amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) no solo com 4, 6, 10 e 12 anos de SPD, vegetação nativa e sistema convencional, em duas épocas de amostragem, em Paragominas (PA).

Prof. (cm)	<sup>1</sup> VN	<sup>2</sup> SC	<sup>3</sup> SPD4	<sup>4</sup> SPD6	<sup>5</sup> SPD10	<sup>6</sup> SPD12	<sup>7</sup> CV (%)
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg (N) kg <sup>-1</sup> (solo))							
Chuvosa							
0-5	36,31aA	20,03bA	21,86bA	22,18bA	23,96bA	24,58bA	
5-10	24,29aB	16,06bA	14,02bB	14,08bB	13,71bB	13,59bB	14,57
10-20	17,91aC	17,37aA	13,43bB	13,25bB	11,78bB	11,17bB	
Média	26,17a	17,82b	16,44b	16,50b	16,48b	16,44b	
Seca							
0-5	36,16aA	19,31bA	22,35bA	23,41bA	24,47bA	26,63bA	
5-10	24,77aB	16,42bA	14,55bB	14,49bB	13,93bB	14,02bB	17,44
10-20	18,39aC	16,88aA	13,26bB	13,86bB	11,85bB	11,33bB	
Média	26,44a	17,54b	16,72b	17,25b	16,75b	17,33b	

Letras minúsculas nas linhas comparam os sistemas de uso e manejo do solo e letras maiúsculas nas colunas comparam as profundidades sob o mesmo sistema; as médias são comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5%. <sup>1</sup>Vegetação Nativa. <sup>2</sup>Sistema convencional. <sup>3</sup>Sistema Plantio direto – 4 anos. <sup>4</sup>Sistema Plantio direto – 6 anos. <sup>5</sup>Sistema Plantio direto – 10 anos. <sup>6</sup>Sistema Plantio direto – 12 anos. <sup>7</sup>Coeficiente de variação.

As maiores quantidades de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> em solos sob VN, provavelmente, devem-se ao fato do estoque de N mineralizado no solo de floresta ser dependente do balanço entre a entrada de N via plantas e das perdas por lixiviação e trocas gasosas e como o N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> é a primeira forma transformada no ciclo biológico do N há tendência natural de maior concentração dessa forma de N quando comparado a outros sistemas que produzem menos matéria orgânica (SAINJU et al., 2007).

Em relação à semelhança entre áreas sob SPD e SC pode ser devido aos solos sob SPD apresentar maior proteção física da matéria orgânica no interior dos agregados, o que ocasiona a redução do acesso dos micro-organismos aos substratos orgânicos, limitando a mineralização.



Os teores médios de N amoniacal diminuíram ao longo do perfil do solo concentrando-se de maneira significativa na superfície (0-5 cm) em relação às demais, independentemente do sistema de manejo adotado, exceto o SC, que não apresentou diferença entre as camadas avaliadas. Ao contrário do  $\text{N-NO}_3^-$ , os íons amônio possuem cargas positivas e podem ficar retidos no complexo de troca do solo, caso predomine a ocorrência de cargas eletronegativas. A maior concentração de  $\text{N-NH}_4^+$ , assim como o  $\text{N-NO}_3^-$ , é devido à deposição dos resíduos culturais na superfície do solo, que promovem maior ciclagem do nutriente nos primeiros 5 cm do solo.

Segundo Parron (2003), em SPD, a notada diferença entre a camada superficial (0-5 cm) em relação às demais profundidades, na concentração de  $\text{N-NH}_4^+$ , possivelmente, está relacionada à maior concentração não só de matéria orgânica, mas também da maior quantidade de N microbiano, atividade enzimática e N total, considerando que a matéria orgânica aumenta a CTC e, conseqüentemente, a adsorção do  $\text{N-NH}_4^+$  trocável, que em conjunto com outras variáveis incrementam o potencial de mineralização.

Quando se avalia os resultados por faixa de profundidade, nas camadas 0-5 e 5-10 cm somente houve diferença entre as áreas de VN, onde foram registrados teores superiores de  $\text{N-NH}_4^+$  em relação ao demais que não diferiram entre si. O mesmo comportamento foi observado nas duas épocas de amostragem. Mesmo não havendo diferença significativa, observou-se gradiente de concentração crescente na camada superficial (0-5 cm) nos solos sob SPD. Isto sugere que o maior tempo de implantação do SPD pode contribuir com maiores teores de  $\text{N-NH}_4^+$ . Porém, para este estudo que avaliou apenas até 12 anos de adoção do sistema, não foi observada variação significativa.

Na camada mais profunda (10-20 cm), o SC apresentou teores de  $\text{N-NH}_4^+$  semelhante à área de VN e maiores teores de  $\text{N-NH}_4^+$  em relação ao SPD.

Em relação à avaliação dos teores de  $\text{N-NH}_4^+$  nas três profundidades dentro de cada sistema, observou-se o mesmo comportamento em ambas as épocas de coleta, onde o solo sob VN apresentou declínio entre as camadas, sendo os valores encontrados de 0 a 5 cm superiores estatisticamente aos teores das profundidades 5 a 10b cm, que por sua vez foi maior que a 10 a 20 cm. No SC não foi observada diferença entre as camadas avaliadas. No SPD houve acúmulo na camada superficial (0-5 cm) que superior às duas últimas profundidades que não diferiram entre si.

As maiores quantidades média de  $N_{\min}$  no solo, de maneira geral, foram observadas nos solos sob SPD, com destaque para os de maior tempo de implantação, revelando relação da concentração  $N_{\min}$  com o maior teor de MOS acumulado.

Independentemente do tipo de sistema de uso e manejo do solo, da profundidade e da época de coleta, o N amoniacal predominou sobre o N nítrico no solo. O predomínio de  $\text{N-NH}_4^+$  em relação ao  $\text{N-NO}_3^-$  no solo pode resultar de muitos fatores, como a maior lixiviação da forma nítrica no perfil do solo (EDWARDS et al. 1972; CHIKOWO et al., 2004; CRUSCIOL et al., 2011). Devido ao predomínio de cargas negativas na camada arável, o  $\text{NO}_3^-$ , que também possui carga negativa, é pouco retido no complexo coloidal (CERETTA; FRIES, 1997), em função da sua baixa energia de ligação aos minerais de argila e a MO (REISENAUER, 1978), permanecendo assim na solução do solo, onde pode ser facilmente perdido por lixiviação, caso ocorram chuvas intensas (JUSTINO et al., 2006; CRUSCIOL et al., 2011; NASCENTE et al., 2012), para camadas subsuperficiais do perfil, acompanhando o movimento descendente da água que percola no perfil do solo (MALAVOLTA, 1980; FAGERIA., 2011).

Além disso, o íon  $\text{NO}_3^-$  é o último elemento formado no ciclo biológico do N no solo e sua assimilação é preferencial tanto pela maioria das plantas como por micro-organismos no solo (OWEN; JONES, 2001).

### 2.3.5 Taxas líquidas de mineralização (TLM) e nitrificação (TLN)

Houve efeito significativo dos tipos de sistemas e das profundidades, isoladamente, sobre a taxa de mineralização (TLM) e de nitrificação (TLN) do N no solo e não registrou-se diferença significativa das taxas entre os sistemas avaliados nas duas épocas de amostragem.

Nas duas épocas, de modo geral, a TLM foi menor na área de VN e maior na área de SC. A TLM dos solos sob SPD foram inferiores ao SC. A mineralização mais lenta no SPD em relação ao SC é devido, principalmente, a não fragmentação física dos resíduos e o menor contato do material orgânico com o solo, o que reduz a ação dos micro-organismos sobre esse material (AMADO et al., 2000). Dentre os solos sob SPD, as taxas de mineralização foram superiores nos tratamentos com maior tempo de implantação (SPD10 e SPD12) em relação aos demais tempos (SPD4 e SPD6), que não diferiram entre si. Segundo Sá (1999), solos sob SPD já consolidado, acima de 5 anos, proporcionam maior mineralização da MO em relação aos anos iniciais. Para este estudo, os resultados indicam que este fato tem início após o 6º ano de implantação do SPD (Tabela 9).

**Tabela 9.** Taxas líquidas de mineralização e nitrificação do N no solo ( $\text{mg kg}^{-1} \text{d}^{-1}$ ) com 4, 6, 10 e 12 anos de SPD, vegetação nativa e sistema convencional, em duas épocas de amostragem, em Paragominas (PA).

Prof. (cm)	<sup>1</sup> VN	<sup>2</sup> SC	<sup>3</sup> SPD4	<sup>4</sup> SPD6	<sup>5</sup> SPD10	<sup>6</sup> SPD12	<sup>7</sup> CV (%)
<b>TLM (<math>\text{mg N kg}^{-1} \text{d}^{-1}</math>)</b>							
Chuvosa							
0-5	0,80 bA	1,13 aA	0,77 bA	0,80 bA	0,96 aA	1,06 aA	
5-10	0,38 bB	1,06 aA	0,61 bA	0,80 aA	0,75 aA	0,88 aA	19,56
10-20	0,35 bB	0,92 aA	0,50 bA	0,55 bA	0,68 aA	0,82 aA	
<b>Média</b>	0,51 d	1,05 a	0,63 c	0,72 c	0,80 b	0,92 b	
Seca							
0-5	0,82bA	1,24aA	0,90bA	0,98aA	1,12aA	1,16aA	
5-10	0,41bB	1,12aA	0,78bA	0,95aA	0,95aA	1,02aA	17,67
10-20	0,35bB	0,99aA	0,55bA	0,68aA	0,82aA	0,92aA	
<b>Média</b>	0,53b	1,10a	0,74b	0,87b	0,96a	1,03a	
<b>TLN (<math>\text{mg N kg}^{-1} \text{d}^{-1}</math>)</b>							
Chuvosa							
0-5	0,37 aA	0,56 aA	0,35 aA	0,48 aA	0,50 aA	0,75 aA	
5-10	0,19 bB	0,54 aA	0,29 bA	0,53 aA	0,23 bA	0,50 aA	18,76
10-20	0,19 bB	0,51 aA	0,20 bA	0,31 bA	0,41 aA	0,52 aA	
<b>Média</b>	0,25 b	0,54 a	0,28 b	0,44 a	0,38 b	0,60 a	
Seca							
0-5	0,39aA	0,65aA	0,39aA	0,52aA	0,63aA	0,78aA	
5-10	0,17bB	0,58aA	0,30bA	0,50aA	0,32aA	0,54aA	18,88
10-20	0,15bB	0,54aA	0,19bA	0,41aA	0,28bA	0,52aA	
<b>Média</b>	0,24b	0,59a	0,29b	0,48a	0,41a	0,61a	

Letras minúsculas nas linhas comparam os sistemas de uso e manejo do solo e letras maiúsculas nas colunas comparam as profundidades sob o mesmo sistema; as médias são comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5%. <sup>1</sup>Vegetação Nativa. <sup>2</sup>Sistema convencional. <sup>3</sup>Sistema Plantio direto – 4 anos. <sup>4</sup>Sistema Plantio direto – 6 anos. <sup>5</sup>Sistema Plantio direto – 10 anos. <sup>6</sup>Sistema Plantio direto – 12 anos. <sup>7</sup>Coefficiente de variação.

Para a taxa de nitrificação (TLN), no período chuvoso, o SC, SPD6 e SPD12 promoveram valores mais elevados em relação à área de VN, SPD4 e SPD12. No período seco, no entanto, o SC apresentou a maior taxa junto ao SPD6, SPD10 e SPD12.

Na camada superficial do solo (0-5 cm), nas duas épocas, as taxas de mineralização e nitrificação foram superiores às demais e decresceram com o incremento da profundidade, independentemente do sistema avaliado, o que já é esperado considerando que, com o aumento da profundidade amostrada, ocorre menor influência dos resíduos vegetais, bem como a menor ação de micro-organismos nessas camadas.

Assim como para a TLM, as taxas de nitrificação foram maiores na camada superficial (0-5 cm) em relação às demais. No entanto, nesta mesma camada não foi observada diferença entre os sistemas estudados, sendo registrada diferença apenas nas demais profundidades. Isto



pode ter acontecido, provavelmente, pelo excesso de água no solo que inibiu a ação dos micro-organismos.

Nas camadas 0-5 e 10-20 cm, as maiores TLM foram registradas nos solos sob SC, SPD12 e SPD10, não havendo diferença entre esses sistemas, e as menores em áreas de VN, SPD4 e SPD6. No entanto, na camada 5-10 cm foi observado comportamento diferente, onde as menores taxas médias foram observadas nas áreas de VN e SPD4 e as maiores em solos sob SC, SPD12, SPD6 e SPD10. Este comportamento foi verificado nas duas épocas de coleta.

Para a TLN, em ambos os períodos, na camada 0-5 cm não houve diferença significativa entre os sistemas avaliados. Enquanto que nas demais camadas o SC foi semelhante ao SPD6 e SPD12 e SPD10 e SPD2, nas camadas 5-10 e 10-20 cm respectivamente.

A taxa de mineralização foi potencialmente mais elevada quando comparada a de nitrificação, nos dois períodos de coleta. Em todos os sistemas estudados, em ambas as épocas, tanto a TLM quanto a TLN foram positivas, evidenciando o predomínio da mineralização sobre a imobilização de N, de forma geral. Na maioria dos solos, as taxas de mineralização e imobilização são controladas por quantidade e qualidades dos resíduos aportados (ROBERTSON & GROFFMAN, 2007) ou ainda pelas transformações microbianas ocorridas em função da decomposição de cada tipo de resíduo aliado à disponibilidade de água e temperatura do solo (SÁ, 1996).

## 2.4 Conclusões

- O  $N_{\text{total}}$  do solo foi semelhante nos solos sob SPD.
- O N microbiano é, preferencialmente, encontrado em maior quantidade em camadas superficial (0-5 cm), sendo os maiores tempos de adoção (10 e 12 anos) do SPD os maiores contribuintes dessa fração de N.
- O N mineral é encontrado em maior quantidade na forma amoniacal.
- Os SPD10 e SPD12 promoveram maior aumento de  $N\text{-NO}_3^-$  no solo.
- As taxas de mineralização e nitrificação foram maiores em SPD com maior tempo de implantação (10 e 12 anos).

## REFERÊNCIAS

- AITA, C.; PORTO, O.; GIOCOMINI, S. J.; Dinâmica do nitrogênio no solo e produção de fitomassa por plantas de cobertura de outono/inverno com uso de dejetos suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 30, p. 901-910, 2006.
- ALFAIA, S. S.; UGUEN, K.; RODRIGUES, M. R. L. **Manejo da fertilidade dos solos na Amazônia**. In: MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O.; BRUSSAARD, L. Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros. Lavras: UFLA, 2008. p.117-142.
- ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; CANTARUTTI, R.B. & LOPES, A.S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G. & ALVAREZ V., V.H., eds. **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5ª Aproximação. Viçosa, MG, Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais – CFSEMG, 1999. p.25-32.
- AMADO, T.J.C.; BAYER, C.; ELTZ, F.L.; BRUM, A.C.R. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.189-197, 2001.
- AMADO, T. J. C., MIELNICZUK, J., FERNANDES, S. B. V.. Leguminosas e adubação mineral como fontes de nitrogênio para o milho em sistemas de preparo do solo. **Rev. Bras. Ciênc. Solo** [online]. 2000, vol.24, n.1, pp.179-189.
- ARATANI, R. G.; FREDDI, O. da S.; CENTURION, J. F.; ANDRIOLI, I. Qualidade física de um Latossolo Vermelho acriférrico sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.33, p.677-687, 2009
- BARBOSA, L.A. **Impactos de sistemas de cultivo orgânico e convencional de cana-de-açúcar nos atributos do solo**. Universidade de Brasília – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2010. 80p. (Dissertação de mestrado).
- BAUDOIN, E.; BENIZRI, E.; GUCKERT, A. Impact of artificial root exudates in the bacterial community structure in bulk soil and maize rhizosphere. **Soil Biology and Biochemistry**, v.35, p. 1183- 1192, 2003.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A.; DIECKOW, J. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 86, n. 2, p. 237-245, 2006.
- BAYER, C.; LOVATO, T.; DIEKOW, J.; ZANATTA, J.A. & MIELNICZUK, J. A method for estimating coefficients of soil organic matter dynamics based on long-term experiments. **Soil Till. Res.**, 91:217-226, 2006.
- BLAKE, G.R. Bulk density. In: BLACK, C.A (Ed.). **Methods of soil analysis: physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. pt.1, p.374-390.
- BONDE, T. A.; SCHNÜRER, J.; ROSSWALL, T. (1988). Microbial biomass as a fraction of potentially mineralizable nitrogen in soils from long-term field experiments. **Soil Biology & Biochemistry**, 20: 447-452.

BRADY, N.C.; WEIL, R.R. **The nature and properties of soils**. 14th ed. New Jersey: Prentice Hall, 2008.

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

CAIRES, E.F.; BANZATTO, D.A. & FONSECA, A.F. Calagem na superfície em sistema de plantio direto. **R. Bras. Ci. Solo**, 24:161-169, 2000.

CAMARGO, F.A.O.; SILVA, L.S.; GIANELLO, C.; TEDESCO, J. M. 2008. Nitrogênio orgânico do solo. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed., Metrópole, Porto Alegre, Rio Grande do Sul. p. 87-99.

CANELLAS, L. P.; VELLOSO, A. C. X., MARCIANO, C. R.; RAMALHO, J. F. G. P.; RUMJANEK, V. M.; REZENDE, C. E & SANTOS, G. A. Propriedades químicas de um cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhicho e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27.p. 935-944, 2003.

CANTARELLA, H. 2007. Nitrogênio. In: Novais, R.F.; ALVAREZ, V.V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L. F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, Minas Gerais. p. 375-470.

CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P.C.O. 2001. Determinação de nitrogênio total em solo. In: RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (Ed.). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas, São Paulo. p. 262-269.

CARMO, J. B.; ANDRADE, C. A.; CERRI, C. C.; PICCOLO, M. C. Disponibilidade de nitrogênio e fluxos de N<sub>2</sub>O a partir de solo sob pastagem após aplicação de herbicida. **R. Bras. Ci. Solo**, 29:735-746, 2005.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D. de; REIS, E. F. dos; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. de. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de Cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.147-157, 2009.

CERETTA, C.A; FRIES, M.R. Adubação nitrogenada no sistema de plantio direto. In: NUERNBERG, N.J. Plantio direto: conceitos, fundamentos e práticas culturais. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Núcleo Regional Sul, 1997. Cap.7, p.111-120.

CHIKOWO, R.; MAPFUMO, P.; NYAMUGAFATA, P.; GILLER, K.E. 2004. Mineral N dynamics, leaching and nitrous oxide losses under maize following two-year improved fallows on a sandy loam soil in Zimbabwe. **Plant and Soil**, 259: 315-330.

COELHO. A. M.; FRANÇA, G. E.; BAHIA FILHO, A. F. C. & GUEDES, G. A. A. Balanço de nitrogênio 15N em um Latossolo Vermelho –escuro, sob vegetação de cerrado, cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 15, p.187-193. 1991.

COSER, T. R.; RAMOS, M. L. G.; AMABILE, R. F.; RIBEIRO JÚNIOR, W. Q. Nitrogênio da biomassa microbiana em solo de Cerrado com aplicação de fertilizante nitrogenado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.399-406, 2007.

CRUSCIOL, C.A.C.; GARCIA, R.A.; CASTRO, G.S.A.; ROSOLEM, C.A. 2011. Nitrate role in basic cation leaching under no-till. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35: 1975-1984

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

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

DORAN, J. W., & PARKIN, T. B. (1994). Defining and assessing soil quality. In J. W. Doran, D. C. Coleman, D. F. Bezdicek, & B. A. Stewart (Eds.), *Defining soil quality for a sustainable environment* (Vol. 35, p. 1-20). Madison: Soil Science Society of America.

EDWARDS, D.M.; FISCHBACH, P.E.; YOUNG, L.L. 1972. Movement of nitrates under irrigated agriculture. **Transactions of the ASABE**, 15: 73-75.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes** (2nd ed.). Brasília, DF: Embrapa, 2011, 627 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos** (3th ed.). Rio de Janeiro: Embrapa, 2013, 353 p.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; JONES, C. A. **Growth and mineral nutrition of field crops**. Boca Raton: CRC Press, 2011.

FALLEIRO, R.M.; SOUZA, C.M.; SILVA, C.S.W.; SEDIYAMA, C.S.; SILVA, A.A.; FAGUNDES, J.L. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.1097-1104, 2003.

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

FONTES, P.F.F.; CAMARGO, O.A.; SPOSITO, G. Eletroquímica das partículas coloidais e sua relação com a mineralogia de solos altamente intemperizados. **Sci. Agrícola**, v.58, n.3, p.627-646, jul./set. 2001.

FRANCHINI, J. C, CRISPINO, C. C, SOUZA, R. A, TORRES, E. , HUNGRIA, M. Microbiological parameters as indicators of soil quality under various soil management and crop rotation systems in southern Brazil. **Soil Till Res**. 2007;92:18-29.

GAMA-RODRIGUES, E.F.; BARROS, N.F.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; SANTOS, G.A. 2005. Nitrogênio, carbono e atividade da biomassa microbiana do solo em plantações de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 29: 893-901.

GAMA-RODRIGUES, E.F. & GAMA-RODRIGUES A.C. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S. da; CANELLAS, L.P. & CAMARGO, F.A.O. (Eds). **Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo** : Ecossistemas tropicais e subtropicais. 2ª edição. Porta Alegre: Metrópole, 2008. p.159-170.

GAMA-RODRIGUES, E.F.; GAMA-RODRIGUES, A.C. & BARROS, N.F. Biomassa microbiana de carbono e de nitrogênio de solos sob diferentes coberturas vegetais. **R. Bras. Ci. Solo**, 21:361-365, 1997.

GUEDES, E.M.S.; FERNANDES, A.R.; LIMA, H.V. de; SERRA, A.P.; COSTA, J.R.; GUEDES, R. da S. Impacts of different management systems on the physical quality of an Amazonian Oxisol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.1269-1277, 2012.

HURLBERT, S.H.,. **Pseudoreplication and the design of ecological field experiments**. Ecological Monographs 54:187-211.1984.

KEENEY, D.R. 1982. Nitrogen: availability indices. In: Page, A.L.; Miller, R.H.; Keeney, D.R. (Ed.). **Methods of soil analysis**: Chemical and microbiological properties. American Society of Agronomy, Madison, Wiscosin. p. 711-733.

KÖEPPEN, W. **Climatología**: con un estudio de los climas de la tierra. México: Fondo de Cultura Económica, 1948. 478p.

JUSTINO, G. C. et al. Absorção e redução de nitrato em duas cultivares de arroz na presença de alumínio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 41, n. 8, p. 1285- 1290, 2006.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 178p.

LOPES, E. L. N., FERNANDES, A. R., RUIVO, M. L. P., CATTANIO, J. H., & SOUZA, G. F. Microbial biomass and soil chemical properties under different land use systems in northeastern Pará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35, 1127-1139. 2011.

LOPES, E. L. N., FERNANDES, A. R., TEIXEIRA, R. A., SOUZA, E. S., RUIVO, M. L. P. Soil attributes under different crop management systems in a Amazon Oxisols. **Bragantia**, 35, 1127-1139. 2015.

LOURENTE, E.R.P.; SILVA, E.F. da; MERCANTE, F.M.; SERRA, A.P.; PEIXOTO, P.P.P.; SEREIA, R.C.; ENSINAS, S.C.; LUIZ NETO NETO, A.L.; ALOVISI, A.M.T.; MARCHETTI, M.E.; CORTEZ, J.W. Agricultural management systems affect on physical, chemical and microbial soil properties. **Australian Journal of Crop Science**, v.10, p.683-692, 2016.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980.



MATOSO, S. C. G., SILVA, A. N., FIORELLI-PEREIRA, E. C., COLLETA, Q. P., & MAIA, E. (2012). Frações de carbono e nitrogênio de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico sob diferentes usos na Amazônia brasileira. **Acta Amazonica**, 42, 231-240.

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

MENGEL, K. Turnover of nitrogen in soil and its availability to crops. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.181, n.1, p.83-93, 1996.

NASCENTE, A. S.; KLUTHCOUSKI, J.; RABELO, R.R.; OLIVEIRA, P.; COBUCCI, T.; CRUSCIOL, C.A.C. Produtividade do arroz de terras altas em função do manejo do solo e da época de aplicação de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 60-65, 2011.

NASCENTE, A. S. CRUSCIOL, C. A. C.; COBUCCI, T. Ammonium and nitrate in soil and upland rice yield as affected by cover crops and their desiccation time. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 47, n. 12, p. 1699-1706, 2012.

OWEN, A.G.; JONES, D.L. 2001. Competition for amino acids between wheat roots and rhizosphere microorganisms and the role of amino acids in plant N acquisition. **Soil Biology and Biochemistry**, 33: 651-657.

PATRA, D. D.; BROOKES, P. C.; COLEMAN, K.; JENKINSON, D.S. Seasonal changes of soil microbial biomass in an arable and a grassland soil which have been under uniform management for many years. **Soil Biology and Biochemistry**, v.22, p.739-742, 1990.

PARRON, L. N. **Mineralização de nitrogênio e biomassa microbiana em solos e Mata de Galeria: efeito do gradiente topográfico**. Planaltina-DF: Embrapa Cerrados, 2003.

PEREZ, K.S.P., RAMOS, M.L.G.; MCMANUS, C. 2004. Carbono da biomassa microbiana em solo cultivado com soja sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 39: 567-573.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do Solo e Adubação: Acidez e Calagem**. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo. Editora Agronômica Ceres Ltda. Piracicaba, SP. p. 343, 1991.

RANGEL-VASCONCELOS, L.G.T.; ZARIN, D.J.; CARVALHO, J.C.R.; SANTOS, M.M.L.S.; VASCONCELOS, S.S.; OLIVEIRA, F.A. 2005. Carbono, nitrogênio e atividade da biomassa microbiana de um solo sob vegetação secundária de diferentes idades na Amazônia Oriental. **Revista de Ciências Agrárias (Belém)**, 44: 49-63.

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.

REISENAUER, H.M. Absorption and utilization of ammonium nitrogen by plants. In: NIELSEN, D.R. & McDONALD, J.G. **Nitrogen in the environment**. London, Academic Press, 1978. v.2. p.157-170.

RHEINHEIMER, D. S et al. Modificações em atributos químicos de solos arenosos sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v. 22, p. 713-722, 1998.

ROBERTSON, G. P.; GROFFMAN, P. M. Nitrogen transformations. In: PAUL, E. **Soil microbiology, ecology and biochemistry**. 3ª edição, p. 341-264. 2007.

RODRIGUES, T. E., SILVA, R. C., SILVA, J. M. L., OLIVEIRA, R. C., Jr., 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. 51 p.

SÁ, J.C.M. **Manejo do nitrogênio na cultura do milho no sistema plantio direto**. Passo Fundo, Aldeia Norte, 1996. 24p.

SÁ, J.C. de M. **Manejo da fertilidade do solo no plantio direto**. Castro, PR: Fundação ABC, 1993. 96p

SÁ, J.C. de M. Plantio direto: transformações e benefícios ao agroecossistema. In: CURSO SOBRE MANEJO DO SOLO NO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 1995, Castro. **Anais...** Castro: Fundação ABC, 1995. p.9-20.

SÁ, J. C. M. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.; LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A. E.; CARVALHO, J. G. (Eds.) **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**. Viçosa, MG: SBCS :UFLA/DCS, 1999. p. 267-319.

SÁ, J. C. M.; CERRI, C. C.; LAL, R. DICK, W. A.; VENZKE FILHO, S. P.; PICCOLO, M.; FEIGL, B. Organic matter dynamics and sequestration rates for tillage cronosequence in a Brasilia Oxisol. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 64, p. 1486-1499, 2001.

SAINJU, U.M.; SINGH, B. P. WHITEHEAD, W. F. Accumulation and crop uptade of soil mineral nitrgen as influenced by tillage, cover crops, and nitrogen fertilization. **Agronomy Journal**, Madison, v. 96, p. 1622-1631, 2007

SAINT, J. C. M.; **Manejo de nitrogênio na cultura do milho no sistema plantio direto**. Passo Fundo: Aldeia Norte, 2006. 72p.

SILVA, I.R.; MENDONÇA, E.S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F. de; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.275-374

SILVA, R. R. D.; SILVA, M. L. N.; CARDOSO, E. L.; MOREIRA, F. M. D. S.; CURI, N.; ALIVISI, A. M. T. Biomassa e atividade microbiana em solos sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica campos das vertentes - MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1585-1592, 2010.

SMITH, J.L. & PAUL, E.A. The significance of soil microbial biomass estimations. In: BOLLAG, J.M. & STOTZKY, G. (eds.) **Soil Biochemistry**. New York: Marcel Dekker, 1990. v.6, p.357-396.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. **Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto: experiência no cerrado**. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 25., 2000, Santa Maria. Fertibio 2000. Santa Maria: SBCS, 2000. CDROM

STEVENSON, F.J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. 2.ed. New York: J. Wiley, 1994. 496p.

TATE, K. R., ROSS, D. J., & FELTHAM, C. W. (1988). A direct extraction method to estimate soil microbial C: effects of experimental variables and some different calibration procedures. **Soil Biology & Biochemistry**, 20, 329-335.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 19, n. 6, p. 703- 707, 1987. 19, 697-702.

VENZKE FILHO, S. P., Fo., FEIG, B. J., PICCOLO, M. C., SIQUEIRA, M., No., Cerri, C. C. (2008). Biomassa microbiana do solo em sistema de plantio direto na região de Campos Gerais - Tibagi- PR. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32, 599-610.

VEZZANI, F. M. **Qualidade do sistema solo na produção agrícola**. Porto Alegre, Universidade Federal Rural do Rio Grande do Sul, 2001. 184p. Tese de Doutorado.

YANG, J.E.; SKOGLEY, E.O.; SCHAFF, B.E.; KIM, J.J. 1998. Simple spectrophotometric determination of nitrate in water, resin and soil extracts. **Soil Science Society of America Journal**, 62: 1108-1115.

WALKLEY, A.; BLACK, I.A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, v. 37, p. 29-38, 1934.

WARDLE, D.A. A comparative assessment of factors which influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil. **Biol. Rev.**, 67:321-358, 1992.

WARDLE, D.A. & HUNGRIA, M.A. A biomassa microbiana do solo e sua importância nos ecossistemas terrestres. In: ARAÚJO, R.S. & HUNGRIA, M., eds. **Microorganismos de importância agrícola**. Brasília, Embrapa-SPI, 1994. p.193- 216.



## CAPÍTULO II

### BIOMASSA MICROBIANA DO SOLO SOB CRONOSSEQUÊNCIA DE SISTEMA PLANTIO DIRETO NA AMAZÔNIA ORIENTAL: UMA ABORDAGEM MULTIVARIADA

#### RESUMO

Os indicadores biológicos de qualidade do solo são bastante sensíveis e permitem o monitoramento das condições do ambiente edáfico influenciadas pelo uso e o tempo de implantação de sistemas conservacionistas. No entanto, as interações edafoclimáticas predominantes da região Amazônica aumentam a complexidade do entendimento dos fatores que influenciam na biomassa microbiana do solo. O método da análise dos componentes principais (ACP), que consiste na transformação de variáveis, possivelmente correlacionadas, em um número menor de variáveis pode auxiliar na investigação dessas relações de complexidade. Objetivou-se avaliar, por meio da análise dos componentes principais, a redução na dimensionalidade de atributos biológicos do solo para a compreensão da variabilidade entre sistemas de uso de manejo do solo. Amostras de solo foram coletadas em duas épocas do ano, março e outubro de 2017, no município de Paragominas, sudeste do Estado do Pará. Os sistemas de uso e manejo do solo, profundidades e época de coleta foram avaliados com análise de componentes principais (ACP) de 7 parâmetros do solo. Os resultados mostram que o tempo de implantação de até 12 anos de SPD não foi suficiente para provocar mudanças significativas no COT do solo em relação aos demais sistemas. O teor de C microbiano foi semelhante em solos sob SPD. Para a análise multivariada duas componentes principais foram responsáveis por 81,5 % da variabilidade entre o conjunto de dados. O primeiro componente explicou 56,36% da variabilidade biológica do solo da área experimental. Este componente é constituído pelos teores de  $N_{mic}$ , com escore positivo e altamente significativo,  $N_{total}$ ,  $C_{mic}$  e RBS. A proporção acumulada entre o primeiro e o segundo componente explicou 81,5% da variabilidade, e o teor de CO, nitrato e amônio foram os de caráter individual com maior carga fatorial (escore), selecionados dentro do segundo fator.

**Palavras-chave:** Análise multivariada. Sistemas de manejo. Qualidade do solo.

## CHAPTER II

### MICROBIAL SOIL BIOMASS UNDER THE CHRONOSEQUENCE OF NO-TILLAGE IN THE EASTERN AMAZON: A MULTIVARIATE APPROACH

#### ABSTRACT

The biological indicators of soil quality are very sensitive and allow the monitoring of the conditions of the soil environment influenced by the use and the time of implantation of conservation systems. However, the predominant edaphoclimatic interactions of the Amazon region increase the complexity of the understanding of the factors influencing the soil microbial biomass. The principal component analysis (PCA) method, which consists of the transformation of possibly correlated variables into a smaller number of variables, may help to investigate these relations of complexity. The objective of this study was to evaluate the reduction in the dimensionality of soil biological attributes to understand the variability among soil management systems. Soil samples were collected in two seasons of the year, in March and October of 2017, in the municipality of Paragominas, southeast of the State of Pará. Soil use and management systems, depths and collection time were evaluated with principal components analysis (PCA) of 7 soil parameters. Two main components accounted for 81.5% of the variability between the data set. The first component explained 56.36% of the soil biological variability of the experimental area. This component consists of Nmic contents, with positive and highly significant score, Ntotal, Cmic and RBS. The accumulated proportion between the first and the second component explained 81.5% of the variability, and the CO, nitrate and ammonium content were those of individual character with higher factorial load (score), selected within the second factor.

**Keywords:** Multivariate analysis. Management systems. Soil quality.

### 3.1 Introdução

O sistema de uso e manejo do solo e o tempo de implantação do sistema são definidores da qualidade do solo, uma vez que influenciam diretamente sobre os atributos que promovem melhorias nas suas propriedades (NUNES et al., 2011). Entende-se por qualidade do solo a capacidade do solo de funcionar, dentro dos limites do ecossistema, para sustentar a produtividade biológica, mantendo a qualidade ambiental e promovendo a saúde de plantas e animais (DORAN & PARKIN, 1994).

Em função dos problemas decorrentes do sistema convencional, que é caracterizado pelo intenso revolvimento do solo, têm-se optado por utilizar sistemas conservacionistas do solo, como o sistema plantio direto. O sistema plantio direto tem como princípios básicos o revolvimento mínimo do solo e a manutenção dos resíduos vegetais sobre a superfície do solo aliados à adoção de rotação de culturas. Tais princípios promovem o aumento do teor de MOS (SÁ et al., 2001) e a atividade biológica (FRANCHINI et al., 2007).

No entanto, quando se avalia a influência dos sistemas de manejo é importante avaliar o tempo de adoção. Sá et al. (2001) ressaltaram que para as mudanças sobre o acúmulo de matéria orgânica e ciclagem de nutrientes se processem, o tempo de implantação do SPD deve ser considerado. Em adição, Anghioni (2007) afirma que o sistema plantio direto na fase inicial de adoção do sistema que corresponde aos 5 primeiros anos de uso ainda está em período de restabelecimento, apresentando ainda baixo acúmulo de palhada, baixos teores de MOS e reconstituição da atividade microbiana do solo. No entanto, maiores acúmulos de palhada e melhorias dos atributos são evidenciados à medida que há aumento do tempo de adoção do sistema. Mello et al. (2003) citam que solos submetidos às práticas do SPD ao longo de vários anos tendem a apresentar maior abundância de material orgânico, menor emissão de carbono, maior agregação do solo e ciclagem de nutrientes.

O maior aporte de matéria orgânica provoca alterações em muitos atributos do solo, incluindo os atributos microbiológicos. Várias pesquisas relacionadas às mudanças ocorridas nos solos em função do manejo agrícola estão voltadas, principalmente, para os atributos físicos e químicos. No entanto, as propriedades biológicas, as quais estão diretamente relacionadas à ciclagem e disponibilidade de nutrientes e a atividade microbiana têm se revelado indicadores mais sensíveis na avaliação das consequências dessas alterações (CARTER, 1986).

Dentre os atributos biológicos mais estudados e sugeridos, a biomassa microbiana tem sido utilizada como indicador biológico da qualidade do solo (GAMA-RODRIGUES, 1999).

A biomassa microbiana tem papel fundamental na manutenção dos agroecossistemas, por ser através dos micro-organismos que há transformação dos materiais orgânicos do solo que influenciam na ciclagem de nutrientes (JENKINSON & LADD, 1981). Os estudos sobre o fluxo de carbono (C), por exemplo, têm sido possíveis através do maior entendimento da dinâmica da biomassa microbiana (GAMA-RODRIGUES et al, 2005).

No entanto, as interações edafoclimáticas predominantes de algumas regiões, como na região Amazônica, que apresenta elevadas temperaturas e alta precipitação, aumentam a complexidade do entendimento dos fatores que influenciam na biomassa microbiana do solo. Estratégias de uso e manejo do solo que podem conferir melhor desempenho da microbiota do solo exigem a compreensão de interações multidisciplinares.

Várias ferramentas estatísticas podem ser utilizadas para investigar essas relações de complexidade (NOGARA NETO et al., 2011). Neste contexto, destaca-se a utilização do método da análise dos componentes principais (ACP), que consiste na transformação de variáveis, possivelmente correlacionadas, em um número menor de variáveis significativas, para fins de elaborar um sistema mais conveniente para a análise de dados. Essa técnica permite julgar a importância das variáveis originais escolhidas, destacando as de maior peso e mais importantes do ponto de vista estatístico (MOITA NETO & MOITA, 1998). A ACP pode auxiliar também na investigação de atributos biológicos do solo que definem a qualidade do solo.

O objetivo do trabalho foi avaliar, por meio da análise dos componentes principais, a redução na dimensionalidade de atributos biológicos do solo para a compreensão da variabilidade entre sistemas de uso de manejo do solo.

## **3.2 Material e Métodos**

### **3.2.1 Área experimental**

O estudo foi realizado nas Fazendas Elizabeth (Latitude: 03° 15' 30,4'' S, Longitude: 47° 16' 51,3'' W) e Michel Capelari, (Latitude: 03° 15' 11,1'' S, Longitude: 47° 16' 39,8'' W), localizadas no município de Paragominas, sudeste do Estado do Pará. O arranjo experimental foi em arranjo em parcelas subdivididas de sistemas de manejo do solo (seis sistemas) e profundidades do solo (três profundidades), em delineamento inteiramente casualizados com quatro repetições. Os sistemas de manejo foram atribuídos às parcelas principais e consistiram em áreas sob sistema plantio direto com 4 (SPD4), 6 (SPD6), 10 (SPD10) e 12 (SPD12) anos

de implantação, uma área sob sistema convencional e uma sob vegetação nativa. As subparcelas, constituídas pelas profundidades, foram 0-5, 5-10 e 10-20 cm.

### 3.2.2 Clima e Solo

O clima da região, conforme classificação de Koppen, é do tipo Aw, caracterizado por um clima tropical chuvoso com expressivo período de estiagem, com início da estação chuvosa em dezembro, prolongando-se até maio, com excedente de água de 282 mm e, a estação seca, com menor disponibilidade hídrica, entre junho e novembro, com déficit hídrico de 512 mm (RODRIGUES et al., 2003). A precipitação pluvial média anual é de 1.800 mm e a temperatura média anual é de 26,5° C. Os dados climáticos durante o ano da coleta encontram-se na Figura 1.

O solo foi classificado como Latossolo Amarelo de textura muito argilosa na camada 0-20 cm (EMBRAPA, 2013).

### 3.2.3 Histórico das áreas

A área sob SC, anteriormente composta por capoeira secundária, vem sendo manejada sob esse sistema há 2 anos com uso de arado de discos e grade niveladora, com restos vegetais remanescentes incorporados ao solo. Além disso, procedeu-se a correção dos níveis de acidez com calcário dolomítico. Para o cultivo de soja (*Glycine max* (L.) Merr), no período do estudo, foram aplicados 160 kg ha<sup>-1</sup> de MAP, 100 kg ha<sup>-1</sup> de superfosfatos simples e 150 kg ha<sup>-1</sup> de KCl. Nenhum fertilizante nitrogenado foi aplicado à soja.

Nas áreas sob SPD com quatro e seis anos de implantação foi realizada a mesma adubação do sistema convencional. Os SPD com dez e doze anos receberam adubação de base com 160 kg ha<sup>-1</sup> de MAP e como cobertura 100 kg ha<sup>-1</sup> de KCl no último ano agrícola.

### 3.2.4 Coleta de solo

Para realizar a coleta de solo, foram demarcados 6 talhões que correspondiam a cada um dos sistemas de uso e manejo do solo. Cada talhão foi subdividido em quadrículas de 100x100 m. Para a coleta, foram utilizadas 4 quadrículas de cada talhão, que corresponderam as repetições do estudo.

Amostras de solos foram coletadas com auxílio de uma sonda, em dois períodos (seco e chuvoso), dentro de cada quadrícula nas profundidades 0-5, 5-10 e 10-20 cm. No total foram coletadas 144 amostras. Após a coleta, as amostras foram acondicionadas sob refrigeração

com o objetivo de estabilizar a atividade microbiológica do solo até a chegada ao laboratório para a realização dos ensaios.

### 3.2.5 Análise de atributos biológicos

O carbono orgânico (CO) foi determinado pelo método de Walkley e Black (1934). As amostras de 0,5 g de solo seco ao ar (TFSA), trituradas e peneiradas em malha de 0,2 mm, foram transferidas para um erlenmeyer de 500 mL, adicionando-se 10 mL da solução de ( $K_2Cr_2O_7$ )  $0,167 \text{ mol L}^{-1}$  e 20 mL de ( $H_2SO_4$ ) concentrado, o erlenmeyer foi agitado por aproximadamente um minuto, para promover a mistura do solo com os reagentes, permanecendo em repouso por 30 min. Após esse intervalo, adicionou-se 150 mL de água destilada e a solução foi filtrada em papel de filtragem rápida, utilizando-se bomba a vácuo para acelerar o processo. Em seguida, foi adicionado 50 mL de água destilada sobre o papel filtro, para completa remoção da solução. Depois da filtragem, foram adicionados 10 mL de ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ) concentrado e 10 mL do indicador difenilamina. Procedeu-se, então, à titulação com sulfato ferroso ( $FeSO_4$ ). $7 H_2O$   $0,25 \text{ mol L}^{-1}$ , até a mudança de cor violeta para o verde. Paralelamente, o mesmo procedimento foi repetido para três amostras-controle, sem solo (branco).

Para a determinação do C microbiano (C-BMS) foi utilizado o método de fumigação-extração descrito Vance et al (1987). Para tal, foram pesados 20 g de solos, em duplicatas; uma amostra foi fumigada por 72 h em dessecador acoplado a uma bomba de vácuo contendo um Becker com clorofórmio isento de álcool, mantidas sem iluminação. As amostras não fumigadas foram mantidas no escuro. Após a fumigação, as duplicatas foram acondicionadas em frascos de plástico para o processo de extração do C, sendo adicionado em cada frasco 50 mL de  $K_2SO_4$   $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  e o conjunto foi mantido sob agitação (140 rpm) por 30 min. Após esse período, as amostras foram filtradas em papel filtro.

Desse extrato foi retirada uma alíquota de 8 mL em tubo de ensaio, onde foram adicionados 2 mL de solução extratora ( $K_2Cr_2O_7$   $0,066 \text{ mol L}^{-1}$ ) e 10 mL de  $H_2SO_4$  concentrado. As amostras foram homogeneizadas e aquecidas em bloco digestor. Após o resfriamento, foram adicionadas três gotas do indicador Ferroin, e o dicromato de potássio em excesso foi titulado com  $(NH_4)_2Fe(SO_4)_2.6H_2O$   $0,0033 \text{ mol L}^{-1}$ . Os valores de C microbiano foram expressos em  $mg \text{ C-CO}_2 \text{ kg}^{-1}$ .

Para o cálculo do C microbiano, utilizou-se a diferença entre o CO nas amostras fumigadas e não fumigadas, com um Kc de 0,33 (SPARLING; WEST, 1988).



A respiração microbiana do solo (RBS) foi estimada pela quantidade de  $\text{CO}_2$  originário da atividade microbiana do solo através original descrita por Jenkinson e Polwson (1976). Para isso, foram incubadas durante 10 dias duplicatas de amostras de solo, correspondentes a cada tratamento. Utilizaram-se recipientes de vidro de 1 L com tampas herméticas, onde 25 g de solo foi incubada à temperatura ambiente. Também foram utilizados dois recipientes sem solo como controle. No mesmo recipiente das amostras de solo foram adicionados um recipiente com 25 ml de Hidróxido de Sódio (NaOH) 0,5 M, e outro com 10 ml de água, o vidro foi hermeticamente fechado permanecendo assim por 10 dias de incubação. Após esse período retirou-se uma alíquota de 5 ml de cada amostra para a titulação que foi feita sob agitação magnética com solução a 0,5 M de ácido clorídrico (HCl).

O nitrogênio total do solo foi estimado pelo método Kjeldahl por destilação a vapor, conforme Embrapa (2011).

O N da biomassa (N-BMS) foi determinado pelo método da fumigação-extração (TATE et al., 1988; VANCE et al., 1987). As amostras foram divididas em subamostras (duplicatas) de 20 g de solo. Parte das amostras foi submetida ao processo de fumigação, seguida de extração, e a outra parte somente ao processo de extração. As amostras foram fumigadas com clorofórmio ( $\text{CHCl}_3$ ) isento de etanol, por 72 horas, em dessecador mantido sob vácuo, livre de luminosidade e, em seguida, retiradas e extraídas, paralelo as amostras não fumigadas. A extração de ambas as amostras foi com adição de 50 mL  $\text{K}_2\text{SO}_4$  (0,5M), por amostra de solo em mesa agitadora horizontal a 180 rpm durante 30 minutos, decantação e filtragem em papel filtro.

O N contido nos extratos fumigados e não-fumigados foi determinado pelo método Kjeldahl (BROOKES et al. 1985). Do extrato obtido, foram pipetados 10 ml, adicionados 1mL de  $\text{H}_2\text{O}_2$  30% e 2 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado em tubos de digestão, ao quais foram levados ao bloco a  $110^\circ\text{C}$  até a redução do volume para 5 ml. Posteriormente as amostras foram conduzidas ao bloco digestor a temperatura de  $250^\circ\text{C}$  até atingir o clareamento da solução (cor amarelo-esverdeado), em seguida aumentou-se a temperatura para  $350^\circ\text{C}$ , que ao alcançar a estabilização, permaneceu nesta temperatura por 2h. Após o resfriamento do tubo, completou-se com 5 mL de água destilada. Em seguida as amostras foram destiladas (Kjeldahl), e tituladas com HCl a  $0,005 \text{ mol L}^{-1}$ .

O N microbiano foi calculado pela fórmula N da biomassa =  $(\text{NF}-\text{NNF}) K_c^{-1}$ , onde NF e NNF são as quantidades totais de N liberado dos solos fumigados e não fumigados, respectivamente, e o  $K_c^{-1}$  é o fator de correção utilizado. O fator de correção, que é uma



constante que representa a proporção do N da biomassa microbiana que é mineralizada, foi igual a 0,54 (BROOKES et al., 1985).

A extração do N inorgânico ( $\text{N-NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$ ) do solo foi realizada conforme metodologia descrita por Cantarella e Trivelin (2001), que consiste na extração utilizando solução de KCl (1M). A determinação nos extratos foi realizada pelo método colorimétrico, de acordo com a metodologia simplificada proposta por Keeney (1982) e método do salicilato por Yang et al. (1998) para as concentrações de amônio ( $\text{N-NH}_4^+$ ) e nitrato ( $\text{N-NO}_3^-$ ), respectivamente.

### 3.2.3 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANAVA), sendo os fatores o tipo de sistema de manejo do solo, a profundidade e a época de coleta. As médias foram comparadas pelo teste de Scott Knott ( $p < 0,05$ ) por meio do software SISVAR, versão 5.6 (FERREIRA, 2011).

Para a análise multivariada, 7 variáveis dependentes foram incluídas no conjunto de dados: CO, Cmic, RBS, N total, Nmic, nitrato ( $\text{N-NO}_3^-$ ) e amônio ( $\text{NH}_4^+$ ). As variáveis independentes consistiram em três profundidades (0-5, 5-10 e 10-20 cm) dentro de seis sistemas (VN, SC, SPD4, SPD6, SDP10 e SPD12), em dois períodos de coleta (período chuvoso e seco), com quatro repetições, perfazendo um total de 144 observações.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância multivariada (MANOVA). Quando significativo, o conjunto de dados foram submetidos à análise de componentes principais (ACP) com auxílio do programa STATISTICA versão 10.0.

## 3.3 Resultados e Discussão

### 3.3.1 Carbono orgânico total (COT)

Os efeitos dos sistemas de uso e manejo do solo na distribuição dos teores de COT nas camadas 0-5, 5-10 e 10-20 cm, nas duas épocas de amostragem são apresentados na Tabela 1. Houve efeito significativo dos sistemas de uso e manejo do solo, da profundidade e da interação dos dois fatores sobre o conteúdo de COT no solo. Não houve influência da época de amostragem.

**Tabela 1.** Carbono orgânico total (COT) em solos sob diferentes sistemas de uso e manejo do solo, em duas épocas do ano e nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm.

Prof. (cm)	<sup>1</sup> VN	<sup>2</sup> SC	<sup>3</sup> SPD4	<sup>4</sup> SPD6	<sup>5</sup> SPD10	<sup>6</sup> SPD12	<sup>7</sup> CV (%)
COT g kg <sup>-1</sup>							
Chuvosa							
0-5	51,08Aa	21,43Ac	24,29Ab	24,59Ab	25,14Ab	25,25Ab	22,25
5-10	26,29Ba	20,92Ac	23,83Ab	22,14Bc	22,24Bc	19,24Bd	
10-20	16,85Cb	19,55Aa	20,03Ba	17,43Cb	15,49Cc	14,27Cc	
Média	31,41a	20,64c	22,72b	21,39c	20,96c	14,27d	
Seca							
0-5	55,72Aa	20,42Ac	25,35Ab	25,62Ab	26,64Ab	26,84Ab	22,47
5-10	29,02Ba	20,84Ab	23,94Ab	22,62Ab	22,39Bb	19,91Bb	
10-20	22,31Ca	18,36Ab	20,11Ba	17,87Bb	15,93Cb	14,83Cb	
Média	35,68a	19,87c	23,13b	22,04b	21,65b	20,53c	

Letras minúsculas nas linhas comparam os sistemas de uso e manejo do solo e letras maiúsculas nas colunas comparam as profundidades sob o mesmo sistema; as médias são comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5%. <sup>1</sup>Vegetação Nativa. <sup>2</sup>Sistema convencional. <sup>3</sup>Sistema Plantio direto – 4 anos. <sup>4</sup>Sistema Plantio direto – 6 anos. <sup>5</sup>Sistema Plantio direto – 10 anos. <sup>6</sup>Sistema Plantio direto – 12 anos. <sup>7</sup>Coeficiente de variação.

Em geral, os maiores conteúdos de COT foram observados em solos sob VN, na ordem de 31,41 g kg<sup>-1</sup> e 35,68 g kg<sup>-1</sup> na época chuvosa e seca, respectivamente. O que corrobora com os resultados de Lopes et al. (2015), em Latossolo Amarelo sob vegetação nativa na mesma região em comparação a diferentes tempos de SPD. Este comportamento é atribuído a maior deposição contínua e diversificação de serapilheira além da ausência de preparo de solo nesta área que mantém estado estável nas adições e perdas de COT neste sistema (GUARECHI et al., 2012; BEZERRA et al., 2013; LOSS et al, 2012; BALBINOT, 2003).

Em SPD, na época chuvosa, o solo sob SPD4 apresentou os maiores valores de COT, seguido do SPD6 e SPD10, que não apresentaram diferença entre si e foram semelhantes ao SC. O SPD12 apresentou os menores valores de COT. Por outro lado, na época seca, não houve diferença significativa entre SPD4, SPD6 e SPD10 que foram superiores ao SPD12, o qual foi semelhante ao SC. Provavelmente, o menor COT no solo em sistemas com maior tempo de implantação pode estar associado a maior presença de C prontamente disponível para o consumo microbiano. Para Costa et al. (2009), as diferenças entre os teores de COT no solo, mesmo quando a produção e a deposição de biomassa no solo são equivalentes, refletem a qualidade do material depositado e como esse material afeta a atividade microbiana.

Entre as profundidades, observou-se distribuição no período chuvoso semelhante ao que ocorreu no período seco entre os sistemas, com maior concentração de COT na camada superficial (0-5 cm) do solo, e redução dos teores com o aumento da profundidade,

independentemente do sistema avaliado, à exceção do SC. Na literatura, são frequentes os trabalhos que evidenciam o maior acúmulo de C na superfície do solo (ERSINAS, 2016).

A estratificação do teor de COT entre as camadas dos solos sob SPD é comumente observada e é proveniente da proporcionalmente maior e frequente deposição superficial de resíduos vegetais de culturas anteriores. Uma situação próxima a esta foi verificada por Rossetti & Centurion (2015) em Latossolo Vermelho em SPD por 5, 6, 8, 9 e 10 anos de implantação. Em contrapartida, no SC não houve diferença entre as profundidades. Em áreas sob SC, onde há incorporação dos resíduos vegetais nos primeiros 20 cm do solo, a MO é distribuída por toda a camada arável, fazendo com que o teor de COT se torne mais uniforme entre as profundidades e podendo, inclusive, tornar-se semelhante ou até maiores que no SPD (JANTALIA et al., 2007; BAKER et al., 2007; USSIRI & LAL, 2009).

Na camada de 0-5 cm, o solo da VN apresentou o maior teor de COT enquanto o SC apresentou o menor valor em ambos os períodos. Dentre as áreas sob SPD não houve diferença significativa, independentemente do tempo de implantação do sistema e do período avaliado. Apesar da ausência de diferenças, verificou-se uma tendência de aumento do C orgânico com o incremento do tempo do sistema, nas duas épocas, indicando associação positiva do conteúdo de COT na superfície do solo com o tempo de implantação do SPD. Isto pode ser atribuído ao maior incremento de MOS, em função do maior aporte de fitomassa em superfície. Venzke Filho et al. (2008) afirmam que os primeiros cinco anos sob SPD (fase inicial), o teor de COT na camada superficial tem, geralmente, menor acúmulo do que entre os cinco e dez anos (fase de transição) do SPD. Em adição, Carvalho et al. (2009) explicam que o acúmulo de C nesse sistema ocorre muito lentamente, podendo levar de 10 a 15 anos para se tornar expressivo.

Campos et al., (2013) avaliando o efeito de sistemas de manejo, incluindo SPD com 3, 5 e 9 anos de implantação, sobre os estoques e as frações carbono orgânico de um Latossolo Amarelo, observou que, houve uma tendência de formação de uma zona de maior concentração de C orgânico na camada superficial com o aumento do tempo do sistema. Albuquerque et al. (2005) também registraram o acúmulo de C em sistemas de preparo reduzido, ao longo do tempo, em virtude do maior aporte de resíduos e acúmulo de matéria orgânica presentes no SPD (LEITE et al., 2003; BAYER et al., 2006; CARVALHO et al., 2009).

Na camada 5-10 cm, o teor de COT apresentou gradiente VN > SPD4 > SPD6 > SPD10 > SC > SPD12, com o SPD6 não diferindo do SPD10 e SC e sendo superior ao

SPD12, no período chuvoso. No entanto, no período seco, somente houve diferença entre VN em relação aos demais sistemas estudados.

Na última camada (10-20), o SPD4 e SC apresentaram os maiores valores de COT, SPD6 e VN valores intermediários e SPD10 e SPD12 menores teores de COT na época chuvosa, enquanto, na época seca somente houve diferença entre SPD4 e VN em relação aos demais sistemas, os quais foram superiores significativamente.

### 3.3.2 Carbono microbiano (Cmic)

Os efeitos dos sistemas de uso e manejo do solo na distribuição dos teores de Cmic nas camadas 0-5, 5-10 e 10-20 cm, nas duas épocas de amostragem são apresentados na Tabela 2. Houve efeito significativo dos sistemas de uso de manejo do solo, da profundidade e da interação dos dois fatores sobre o conteúdo de Cmic no solo. Não houve influência da época de amostragem.

**Tabela 2.** Carbono microbiano (Cmic) em solos sob diferentes sistemas de uso e manejo do solo, em duas épocas do ano e nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm.

Prof. (cm)	<sup>1</sup> VN	<sup>2</sup> SC	<sup>3</sup> SPD4	<sup>4</sup> SPD6	<sup>5</sup> SPD10	<sup>6</sup> SPD12	<sup>7</sup> CV (%)
Cmic mg kg <sup>-1</sup>							
Chuvosa							
0-5	1197,95Aa	457,46Ab	552,77Ab	569,95Ab	602,97Ab	646,40Ab	18,60
5-10	705,85Ba	329,87Ac	532,16Ab	530,07Ab	540,05Ab	517,44Bb	
10-20	526,50Ca	298,54Ab	516,59Aa	489,93Aa	467,56Aa	450,80Ba	
Média	810,10a	361,96c	533,84b	529,98b	536,86b	538,21b	
Seca							
0-5	1072,02Aa	447,99Ab	567,26Ab	616,21Ab	660,03Ab	687,76Ab	19,81
5-10	751,85Ba	339,27Ac	555,53Ab	556,88Bb	550,13Bb	531,14Bb	
10-20	578,77Ca	276,67Ab	521,26Aa	504,73Ba	494,83Ba	469,05Ba	
Média	800,88a	354,64c	548,02b	559,27b	568,33b	562,65b	

Letras minúsculas nas linhas comparam os sistemas de uso e manejo do solo e letras maiúsculas nas colunas comparam as profundidades sob o mesmo sistema; as médias são comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5%. <sup>1</sup>Vegetação Nativa. <sup>2</sup>Sistema convencional. <sup>3</sup>Sistema Plantio direto – 4 anos. <sup>4</sup>Sistema Plantio direto – 6 anos. <sup>5</sup>Sistema Plantio direto – 10 anos. <sup>6</sup>Sistema Plantio direto – 12 anos. <sup>7</sup>Coefficiente de variação.

De modo geral, valores mais altos de Cmic foram observados em solos sob VN seguido de solos sob SPD, que independentemente do tempo de adoção não apresentaram diferença significativa entre si, em ambas as épocas de coleta. A biomassa microbiana mais elevada na área de VN é reflexo do estímulo à microbiota do solo através do fornecimento contínuo de materiais orgânicos com diferentes graus de susceptibilidade à decomposição, originados da vegetação. Além disso, notadamente, há maior diversidade de espécies nesse

sistema, em relação aos demais sistemas avaliados, implicando na maior deposição de substratos orgânicos oxidáveis com variada composição na serrapilheira. Em adição, há maior diversidade de compostos orgânicos depositados na rizosfera, o que favorece a sobrevivência e crescimento de diferentes grupos de micro-organismos, promovendo maior estímulo a microfauna. As condições particulares desse sistema aliadas a ausência de perturbações antrópicas possibilitam a existência de maior conteúdo de Cmic, sugerindo o maior equilíbrio da microbiota do solo nesse ambiente (GAMA-RODRIGUES; GAMA-RODRIGUES, 2005).

Em solos sob SPD, mesmo não havendo diferença significativa, observou-se uma tendência de aumento do conteúdo de Cmic conforme o tempo de implantação do sistema aumenta. Isto indica que ainda estão ocorrendo alterações na biomassa microbiana no intervalo de implantação do sistema avaliado. Leite et al. (2003) avaliando teores de Cmic em solos sob SPD com 2, 4 e 6 anos de implantação, não observaram diferença significativa do conteúdo de Cmic, sugerindo a avaliação de um período maior de implantação do SPD.

O SC apresentou o menor valor de Cmic ( $361,95 \text{ mg kg}^{-1}$  e  $354,64 \text{ mg kg}^{-1}$ ) nos períodos chuvoso e seco, respectivamente). Os valores mais baixos nesse sistema podem estar associados às práticas de manejo utilizadas, incluindo o revolvimento do solo, baixa manutenção de cobertura vegetal, que aceleram o processo de mineralização da matéria orgânica, aliado ao uso de apenas uma cultura durante os dois anos de cultivo, que contribuem para reduzir a quantidade e, provavelmente, a diversidade dos micro-organismos (PEREZ et al., 2004).

Entre as profundidades, observou-se distribuição no período chuvoso semelhante ao que ocorreu no período seco entre os sistemas, com maior concentração de Cmic na camada superficial (0-5 cm) do solo, e redução dos teores com o aumento da profundidade, independentemente do sistema avaliado, à exceção do SC. Na literatura, são frequentes os trabalhos que evidenciam o maior acúmulo de Cmic na superfície do solo, em função da atividade microbiana restringir-se preferencialmente as primeiras camadas do solo (LEITE et al., 2003; LOPES et al., 2015).

Diferenças significativas entre os sistemas foram observadas na camada superficial (0-5 cm), onde são mais intensos os processos de transformação da matéria orgânica pelos micro-organismos. Nesta profundidade, a VN apresentou maior conteúdo de Cmic em relação aos demais sistemas, que não diferiram entre si.



### 3.3.3 Quociente microbiano (qMIC).

Os valores de qMIC variaram de 1,55 a 3,21 % (Tabela 3). Normalmente, o  $C_{mic}$  expresso através do qMIC representa entre 1 a 4% do COT (JENKINSON; LADD, 1981). O qMIC pode ser influenciado por diversos fatores, que incluem o tipo de solo, pH, sistema de cultura, estabilização e qualidade do CO, clima e histórico do manejo do solo (RANGEL; SILVA., 2007). Então, condições em que o qMIC é menor que 1% sugerem que existem fatores que podem limitar a atividade da comunidade microbiana do solo (JAKELAITIS et al., 2008). Isto sugere que, para este estudo, as áreas sob os sistemas estudados apresentam boas condições para crescimento da biomassa.

**Tabela 3.** Quociente microbiano – qMIC, em solos sob diferentes sistemas de uso e manejo do solo e profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm.

Prof. (cm)	<sup>1</sup> VN	<sup>2</sup> SC	<sup>3</sup> SPD4	<sup>4</sup> SPD6	<sup>5</sup> SPD10	<sup>6</sup> SPD12	<sup>7</sup> CV (%)
qMIC (%)							
Chuvosa							
0-5	2,34aA	2,13Aa	2,26aB	2,31aB	2,39aA	2,55aA	
5-10	2,68aA	1,58bB	2,23aB	2,40aB	2,44aA	2,69aA	14,55
10-20	3,12aA	1,55bB	2,58aA	2,81aA	3,01aA	3,21aA	
Média	2,71a	1,75c	2,35b	2,50b	2,61a	2,81 <sup>a</sup>	
Seca							
0-5	1,93Ba	2,20Aa	2,22Aa	2,40Aa	2,47Ba	2,58Ba	
5-10	2,59Aa	1,63Bb	2,32Aa	2,45Aa	2,46Ba	2,66Ba	13,50
10-20	2,61Ab	1,53Bc	2,58Ab	2,86Ab	3,09Aa	3,16Aa	
Média	2,37b	1,79c	2,37b	2,57a	2,67a	2,80 <sup>a</sup>	

Letras minúsculas nas linhas comparam os sistemas de uso e manejo do solo e letras maiúsculas nas colunas comparam as profundidades sob o mesmo sistema; as médias são comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5%. <sup>1</sup>Vegetação Nativa. <sup>2</sup>Sistema convencional. <sup>3</sup>Sistema Plantio direto – 4 anos. <sup>4</sup>Sistema Plantio direto – 6 anos. <sup>5</sup>Sistema Plantio direto – 10 anos. <sup>6</sup>Sistema Plantio direto – 12 anos. <sup>7</sup>Coefficiente de variação.

De maneira geral, a VN, SPD10 e SPD12 apresentaram os maiores valores dessa relação que os demais sistemas no período chuvoso. Por outro lado, no período seco, o SPD6, SPD10 e SPD12 apresentaram as maiores relações seguidos da VN e SPD4. Maiores valores de qMIC indicam maior conversão de CO em  $C_{mic}$ . Sistemas conservacionistas do solo, como o SPD, se bem conduzidos mantêm o qMIC semelhante ao do solo em condições naturais (NUNES et al., 2011).

Em camadas, observou-se que na profundidade 0-5 cm não houve diferença entre os sistemas avaliados, nem mesmo em relação ao SC. Isto, possivelmente, ocorreu porque ao variar o teor de  $C_{mic}$ , também houve variação proporcional conjunta do COT no mesmo

sistema, uma vez que este índice relaciona a biomassa microbiana à disponibilidade de CO no solo.

Nas camadas de 5-10 e 10-20 cm, comportamento diferente foi verificado, onde a VN não diferiu das áreas sob SPD, porém foi superior ao SC, indicando que o SPD em longa duração tende a se aproximar das condições de vegetação nativa em relação à atividade dos micro-organismos, que pode ser atribuído ao aumento do aporte de matéria orgânica do solo ao longo do tempo.

### 3.3.4 Análise multivariada

#### 3.3.4.1 Análise de variância

O resultado da análise de variância (MANOVA) consta na Tabela 4. Esses resultados indicam se o período de coleta, o sistema de uso e manejo do solo e profundidade ou suas interações afetaram significativamente pelo menos uma das 7 variáveis avaliadas.

**Tabela 4.** Resultados da análise multivariada de variância (MANOVA) para avaliar o efeito do período de coleta, sistema de manejo do solo, profundidade e suas interações em 7 variáveis de um Latossolo Amarelo sob diferentes sistemas de uso e manejo do solo em Paragominas-PA.

Fatores	DF	Wilk's $\Lambda$	P-value
Período	6	0,940	0,3730
Sistema	30	0,049	<0,0001
Prof.	12	0,535	<0,0001
Período x Sistema	30	0,622	<0,0105
Período x Prof.	12	0,977	0,9985
Sistema x Prof.	60	0,190	<0,0001
Período x Sistema x Prof.	60	0,666	0,9349

Conforme a MANOVA, sistema e profundidade foram significativos, com as interações período x sistema e sistema x profundidade também sendo significativas. Isto indica que as propriedades biológicas do solo diferem, principalmente, com base no sistema de manejo adotado e entre profundidades do solo.

A diferença significativa da interação entre o período de coleta x sistema sugere a relevância da avaliação dos diferentes sistemas de manejo utilizados. A importância da



interação sistema x profundidade é indicativo da estratificação que ocorre em solos sob SPD, em função do acúmulo superficial dos resíduos no solo, enquanto no sistema convencional, os resíduos são distribuídos de forma mais homogênea por toda a camada de solo, conforme este solo é perturbado pelas práticas utilizada neste sistema (SILVA & MENDONÇA, 2007). Em contraste, a interação período x profundidade não foi significativa, o que sugere que qualquer efeito do período de coleta é consistente entre as profundidades avaliadas.

#### 3.3.4.2 Análise de componentes principais

A ACP é um procedimento estatístico multivariado que permite a eliminação de sobreposição de dados e a escolha das formas representativas de dados a partir de combinações lineares de variáveis originais. As combinações se referem às relações entre características extraídas de dados, quando os vetores de características têm muitas dimensões.

Do conjunto de variáveis, 2 componentes principais foram obtidos (Tabela 5) junto com seus autovalores (extraídos da matriz de correlação) e a porcentagem de variabilidade explicada dos dados correspondentes a cada componente. O autovalor de um determinado componente indica a quantidade de variação que este componente contém do total de variações (MANLY, 2008). Para determinar o número mínimo de componentes principais que respondem pela maior parte da variação nos dados podem ser avaliados a quantidade de variância que os componentes principais explicam, através da utilização da proporção acumulada ou pelo tamanho do autovalor que deve ser maior que 1. O nível aceitável de variância para fins descritivos é de no mínimo 80% da variância explicada (NOGARA NETO et al., 2011).

**Tabela 5.** Autovalores e porcentagem de variabilidade explicada para cada componente e correlação.

Componentes	Autovalores	Proporção (%)	Proporção acumulada (%)
1	3,9945	56,36	56,36
2	1,7599	25,14	81,50

Dado que, os componentes principais 1 (CP1) e 2 (CP2), para atender a exigência, foram escolhidos e, juntos explicam 81,5% da variabilidade total dos dados.

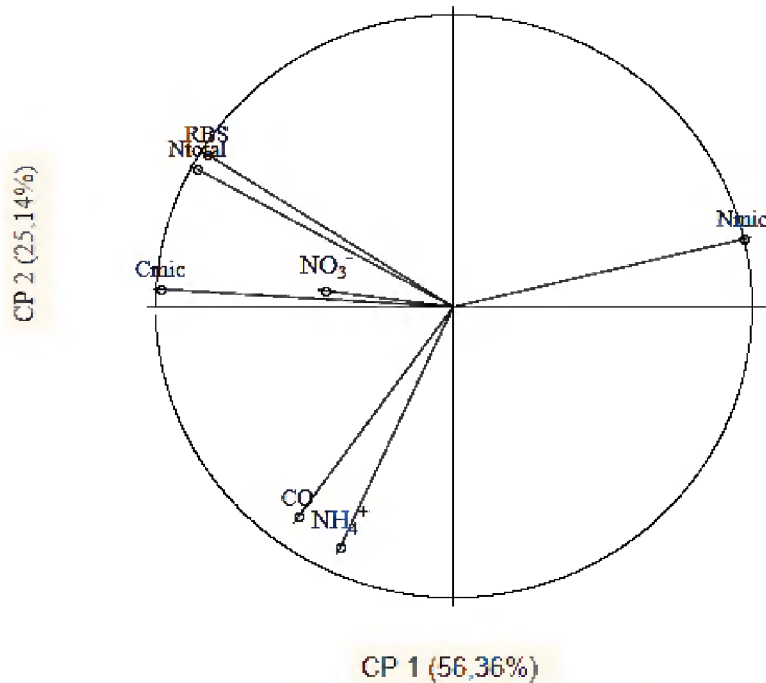
Quanto à correlação entre variáveis e componentes principais, observa-se que para o CP1, os atributos biológicos N total, Nmic, Cmic, RBS foram os que apresentaram maior correlação. Enquanto nitrato, amônio e CO mostraram maior correlação com CP2 (Tabela 6).

**Tabela 6.** Correlação entre variáveis e componentes principais.

Variáveis	CP1	CP2
CO	-0,2627	-0,5454
N total	-0,4331	0,3544
N-BMS	0,4890	0,1750
C-BMS	-0,4959	0,0444
Nitrato	-0,2167	0,0397
Amônio	-0,1927	-0,6220
RBS	-0,4171	0,3945

Com base na Figura 1, é possível analisar a dispersão dos atributos estudados e suas respectivas correlações com os principais componentes. Todas as variáveis são encontradas perto do círculo de correlação, com exceção do Nitrato, mostrando contribuição satisfatória para explicar variação de dados.

A proximidade entre variável e componente principal é um indicador de uma boa correlação (MANLY, 2008). De fato, a Figura 1 é uma representação gráfica dos dados contidos na Tabela 4, com o acréscimo das informações correspondentes às áreas e camadas. Quanto à proximidade entre as variáveis, é o reflexo de uma maior correlação entre elas.



**Figura 1.** Dispersão de atributos biológicos para as áreas sob Vegetação nativa, sistema convencional e sistema plantio direto nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm. CO: Carbono orgânico; Cmic: carbono microbiano; Nmic: nitrogênio microbiano; Ntotal: nitrogênio total; NO<sub>3</sub><sup>-</sup>: nitrato; NH<sub>4</sub><sup>+</sup>: amônio; RBS: respiração basal do solo.

#### 3.3.4.3 Percepção sobre a biomassa microbiana pelo procedimento de análise multivariada

Quando considera-se a complexidade das variáveis associadas ao solo, as técnicas de análise multivariada são adequadas para atingir uma compreensão mais integrada da estrutura do sistema, identificando, no presente estudo, as variáveis mais intensas no solo. Embora a análise univariada para dados de solo sejam discriminativas para tratamentos, ficou evidente que não é possível estabelecer a partir dela as relações que existem entre todas as variáveis estudadas. Por exemplo, sem a análise multivariada não teria sido possível a observação de que, no conjunto de dados, o Nmic tem relação direta com respiração basal do solo (RBS), um resultado que a princípio não é esperado a relação entre as duas variáveis.

## 4 Conclusões

- O tempo de implantação de até 12 anos de SPD não foi suficiente para provocar mudanças significativas no COT do solo
- O teor de C microbiano foi semelhante em solos sob SPD
- A análise de componentes principal foi essencial para melhor compreender o conjunto de variáveis estudadas.
- A análise multivariada é recomendada como ferramenta auxiliar em estudos para avaliar a biomassa microbiana do solo.

## REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, J. A.; ARGENTON, J.; BAYER, C.; WILDNER, L. P.; KUNTZE, M. A. G. Relação de atributos do solo com a agregação de um latossolo vermelho sob sistemas de preparo e plantas de verão para cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, n. 3, p. 415-424, 2005.
- ANDERSON, T.H.; DOMSCH, K.H. The metabolic quotient for CO<sub>2</sub> (qCO<sub>2</sub>) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 25, p. 393-395, 1993.
- ANGHINONI, I. Fertilidade do solo e seu manejo em sistema plantio direto. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. U.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa - MG; Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 873-880.
- BAKER, J. M.; OCHSNER, T. E.; VENTEREA, R. T.; GRIFFIS, T. J. Tillage and soil carbon sequestration-what do we really know?. **Agriculture Ecosystem & Environment**, v.118, n.1, p.1-5, 2007.
- BALBINOT, R.; SCHUMACHER, M.V.; WATZLAWICK, L.F.; SANQUETTA, C.R. Inventário do carbono orgânico em um plantio de Pinus taeda aos 5 anos de idade no Rio Grande do Sul. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v.5, n.1, 2003.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A.; DIECKOW, J. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 86, n. 2, p. 237-245, 2006.
- BEZERRA, R. P. M, LOSS, A., PEREIRA, M. G, PERIN, A. Formas de carbono em Latossolo sob sistemas de plantio direto e integração lavoura-pecuária no cerrado, Goiás. **Semina: Ci Agrár**. 2013;34:2637-54.
- BROOKES, P.C.; LANDMAN, A.; PRUDEN, G.; JENKINSON, D.S. 1985. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. **Soil Biology and Biochemistry**, 17: 837- 842.
- CAMPOS, L. P.; LEITE, L. F. C.; MACIEL, E. L. B.; IWATA, B. F. Estoque e frações de carbono orgânico em Latossolo Amarelo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.48, n.3, p.304-312, 2013.
- CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P.C.O. 2001. Determinação de nitrogênio total em solo. In: RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (Ed.). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas, São Paulo. p. 262-269.
- CARTER, M.R. Microbial biomasses as an index for tillage-induced changes in soil biological properties. **Soil Tillage Research**, v. 7, p. 29-40, 1986.

CARVALHO, J. L. N.; CERRI, C. E. P.; FEIGL, B. J.; PÍCCOLO, M. C.; GODINHO, V. P.; CERRI, C. C. Carbon sequestration in agricultural soils in the Cerrado region of the Brazilian Amazon. **Soils tillage Res.**, 103: 342-349, 2009.

COSTA, O. V., CANTARUTTI, R. B., FONTES, L. E. F., COSTA, L. M., NACIF, P. G. S., & FARIA, J. C. (2009). Estoque de carbono do solo sob pastagem em área de tabuleiro costeiro no sul da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 33, 1137-1145.

DORAN, J.W. & PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A., eds. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, **Soil Science Society of America**, 1994. p.3-21. (SSSA Special Publication, 35).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes** (2nd ed.). Brasília, DF: Embrapa, 2011, 627 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos** (3th ed.). Rio de Janeiro: Embrapa, 2013, 353 p.

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

FRANCHINI, J. C, CRISPINO, C. C, SOUZA, R. A, TORRES, E. , HUNGRIA, M. Microbiological parameters as indicators of soil quality under various soil management and crop rotation systems in southern Brazil. **Soil Till Res.** 2007;92:18-29.

GAMA-RODRIGUES, E.F.; BARROS, N.F.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; SANTOS, G.A. 2005. Nitrogênio, carbono e atividade da biomassa microbiana do solo em plantações de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 29: 893-901.

GAMA-RODRIGUES, E.F. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes, In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistema tropicais e subtropicais**. Porto Alegre; Gênese, 1999. p. 227-243.

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, p.909-920, 2012.

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

JANTALIA, C. P.; RESCK, D. V. S.; ALVES, B. J. R.; ZOTARELLI, L.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Tillage effect on C stocks of a clayey Oxisol under a soybean-based crop rotation in the Brazilian Cerrado region. **Soil & Tillage Research**, v.95, n.1, p.97-109, 2007.  
KARLEN, D. L, KOVAR, J. L, CAMBARDELLA, C. A, COLVIN, T. S. Thirty-year tillage effects on crop yield and soil fertility indicators. **Soil Till Res.** 2013;130:24-41.

JENKINSON, D.S. & POWLSON, D.S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil-I. Fumigation with chloroform. **Soil Biol. Biochem.**, 8:167-177, 1976.

JENKINSON, D.S., LADD, J.N. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In: PAUL, E.A.; LADD, J.N. (Ed.). **Soil Biochemistry**, v. 5, p.415-471, 1981.

KEENEY, D.R. 1982. Nitrogen: availability indices. In: Page, A.L.; Miller, R.H.; Keeney, D.R. (Ed.). **Methods of soil analysis: Chemical and microbiological properties**. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin. p. 711-733.

KÖEPPEN, W. **Climatología**: con un estudio de los climas de la tierra. México: Fondo de Cultura Económica, 1948. 478p.

LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S.; MACHADO, P. L. O. A.; MATOS, E. S. Total C and N storage and organic C pools of a Red-Yellow Podzolic under conventional and no tillage at the Atlantic Forest Zone, Southeastern Brazil. **Australian Journal of Soil Research**, Victoria, v. 41, n. 4, p. 717-730, 2003.

LOPES, E. L. N., FERNANDES, A. R., TEIXEIRA, R. A., SOUZA, E. S., RUIVO, M. L. P. Soil attributes under different crop management systems in a Amazon Oxisols. **Bragantia**, 35, 1127-1139. 2015.

LOSS, A., PEREIRA, M. G, PERIN, A., ANJOS, L. H. C. Carbon and nitrogen content and stock in no-tillage and crop-livestock integration systems in the Cerrado of Goiás State, Brazil. **J Agric Sci**. 2012;4:96-105.

MANLY, B. J. F., 2008. **Métodos Estatísticos Multivariados: uma introdução**, 2nd ed. Bookman, porto Alegre.

MELLO, C. R.; FERREIRA, D. F.; SILVA, A. M.; LIMA, J. M. Modelos matemáticos para predição da chuva de projeto para regiões do Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.1, p.121-128, 2003.

MOITA NETO, J.M.; MOITA, G.C. Uma introdução à análise exploratória de dados multivariados. **Química Nova**, v.21, p.467-469, 1998.

NOGARA NETO, F.; ROLOFF, G.; DIECKOW, J.; MOTTA, A.C.V. Atributos de solo e cultura espacialmente distribuídos relacionados ao rendimento do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.1025-1036, 2011.

NUNES, R. S.; LOPES, A. A. C.; SOUZA, D. M. G.; MENDES, I. C. Sistemas de manejo e os estoques de carbono e nitrogênio em Latossolo de cerrado com sucessão soja-milho. **R. Bras. Ci. Solo**, 35:1407-1419, 2011.

PEREZ, K.S.P., RAMOS, M.L.G.; MCMANUS, C. 2004. Carbono da biomassa microbiana em solo cultivado com soja sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 39: 567-573.



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.

RODRIGUES, T. E., SILVA, R. C., SILVA, J. M. L., OLIVEIRA, R. C., Jr., 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. 51 p.

SILVA, I.R.; MENDONÇA, E.S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F. de; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.275-374

ROSSETTI, K. V.; CENTURION, J. F. Estoque de carbono e atributos físicos de um Latossolo em cronosequência sob diferentes manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, 19, 252-258. 2015.

SÁ, J. C. M; CERRI, C. C.; LAL, R. DICK, W. A.; VENZKE FILHO, S. P.; PICCOLO, M.; FEIGL, B. Organic matter dynamics and sequestration rates for tillage cronosequence in a Brasilia Oxisol. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 64, p. 1486-1499, 2001.

SPARLING, G.P. & WEST, A.W. A direct extraction method to estimate soil microbial C: Calibration in situ using microbial respiration and <sup>14</sup>C labelled cells. **Soil Biol. Biochem.**, 20:337-343, 1988.

TATE, K. R., ROSS, D. J., & FELTHAM, C. W. (1988). A direct extraction method to estimate soil microbial C: effects of experimental variables and some different calibration procedures. **Soil Biology & Biochemistry**, 20, 329-335.

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. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 19, n. 6, p. 703- 707, 1987. 19, 697-702.

VENZKE FILHO, S. P., Fo., FEIG, B. J., PICCOLO, M. C., SIQUEIRA, M., No., Cerri, C. C. (2008). Biomassa microbiana do solo em sistema de plantio direto na região de Campos Gerais - Tibagi- PR. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32, 599-610.

WALKLEY, A.; BLACK, I.A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, v. 37, p. 29-38, 1934.

YANG, J.E.; SKOGLEY, E.O.; SCHAFF, B.E.; KIM, J.J. 1998. Simple spectrophotometric determination of nitrate in water, resin and soil extracts. **Soil Science Society of America Journal**, 62: 1108-1115.

## APÊNDICE

**Tabela 7.** Conjunto de dados biológicos de um Latossolo Amarelo sob diferentes sistemas de uso e manejo do solo nas profundidades 0-5, 5-10 e 10-20 cm em Paragominas-PA, utilizados na análise multivariada.

Var.	Und.	Prof. (cm)	<sup>1</sup> VN		<sup>2</sup> SC		<sup>3</sup> SPD4		<sup>4</sup> SPD6		<sup>5</sup> SPD10		SPD12	
			Chuv.	Seco	Chuv.	Seco	Chuv.	Seco	Chuv.	Seco	Chuv.	Seco	Chuv.	Seco
CO	g kg <sup>-1</sup>	0-5	51,08	55,72	21,43	20,42	24,29	25,35	24,59	25,62	25,14	26,64	25,25	26,84
CO		5-10	26,29	29,02	20,92	20,84	23,83	23,94	22,14	22,62	22,24	22,39	19,24	19,91
CO		10-20	16,85	22,31	19,55	18,36	20,03	20,11	17,43	17,87	15,49	15,93	14,27	14,83
C-mic	mg kg <sup>-1</sup>	0-5	1197,95	1072,02	457,46	447,99	552,77	567,26	569,95	616,21	602,97	660,03	646,40	687,76
C-mic		5-10	705,85	751,85	329,87	339,27	532,16	555,53	530,07	556,88	540,05	550,13	517,44	531,14
C-mic		10-20	526,50	578,77	298,54	276,67	516,59	521,26	489,93	504,73	467,56	494,83	450,80	469,05
RBS	mg kg <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup>	0-5	0,38	0,46	0,23	0,09	0,24	0,19	0,26	0,13	0,24	0,27	0,29	0,22
RBS		5-10	0,23	0,31	0,21	0,28	0,23	0,20	0,22	0,18	0,23	0,19	0,26	0,34
RBS		10-20	0,22	0,38	0,22	0,34	0,13	0,29	0,14	0,14	0,23	0,21	0,24	0,29
Ntotal	g kg <sup>-1</sup>	0-5	2,92	2,84	1,62	1,53	1,59	1,72	1,64	1,77	1,76	1,87	1,76	1,87
Ntotal		5-10	1,80	2,47	1,66	1,44	1,49	1,62	1,46	1,60	1,51	1,56	1,59	1,59
Ntotal		10-20	1,33	2,05	1,46	1,43	1,27	1,28	1,20	1,20	1,18	1,24	1,11	1,22
Nmic	mg kg <sup>-1</sup>	0-5	129,45	121,74	38,35	28,30	60,58	65,32	63,70	68,65	80,55	83,45	80,78	84,66
Nmic		5-10	86,05	91,05	26,93	23,91	51,94	51,70	52,18	52,43	57,73	59,42	57,96	59,99
Nmic		10-20	78,08	77,27	30,66	20,51	52,18	51,25	44,77	45,52	43,42	46,08	42,65	45,30
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	0-5	23,78	21,06	11,96	12,98	20,14	20,80	22,15	22,37	22,81	23,04	23,70	24,65
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		5-10	18,43	17,26	12,60	11,66	15,74	15,80	16,52	16,73	18,26	18,76	18,39	18,63
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		10-20	15,95	14,37	10,78	10,46	11,32	11,36	11,60	11,84	13,51	13,62	14,94	15,06
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	0-5	36,31	36,16	20,03	19,31	21,86	22,35	22,18	23,41	23,96	24,47	24,58	26,63
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>		5-10	24,29	24,77	16,06	16,42	14,02	14,55	14,08	14,49	13,71	13,93	13,59	14,02
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>		10-20	17,91	18,39	17,37	16,88	13,43	13,26	13,25	13,86	11,78	11,85	11,17	11,33

<sup>1</sup>Vegetação Nativa. <sup>2</sup>Sistema convencional. <sup>3</sup>Sistema Plantio direto – 4 anos. <sup>4</sup>Sistema convencional. <sup>4</sup>Sistema Plantio direto – 6 anos. <sup>5</sup>Sistema Plantio direto – 10 anos. <sup>6</sup>Sistema Plantio direto – 12 anos.

